

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Г.І.Камель

Ю.А.Гасило

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

«НАПЛАВЛЕННЯ ТА НАПИЛЕННЯ»

для студентів усіх форм навчання

напряму 6.050504 «Зварювання»

Затверджено редакційно-видавничою секцією

науково-методичної ради ДДТУ

«__» _____ 2017 р. протокол № _____

Кам'янське

2017

Конспект лекцій з дисципліни «Наплавлення та напилення» для студентів напрямку 6.050504 «Зварювання»/ Укладачі Г.І.Камель, Ю.А.Гасило. – Кам'янське: ДДТУ 2017 - с.

Укладачі: Г.І.Камель, зав.кафедрою ТУЗ, професор, д.т.н.

Ю.А.Гасило, канд. техн. наук, доцент

Відповідальній за випуск: зав. кафедрою ТУЗ: докт. техн. наук, професор Камель Г.І.

Рецензент: завідувач кафедри ТМ, проф., д.т.н. Бельмас І.В.

Затверджено на засіданні кафедри ТУЗ, протокол №__ від ____ 2017 р.

Метою викладання дисципліни «Наплавлення та напилення» є вивчення Основних процесів реновації деталей, що дозволяє поліпшити техніко-економічні показники при відновленні і зміцненні виробів, економити природні і енергетичні ресурси та значно поліпшити екологію. Зміст конспекту відповідає профілю дисципліни «Наплавлення та напилення», яка є складовою навчального плану підготовки бакалаврів і спеціалістів за напрямом 050604 -«Зварювання».Конспект лекцій може бути використаний студентами, магістрами і аспірантами технічних спеціальностей, а також інженерно-технічними працівниками різних галузей промисловості і транспорту.

Зміст

Розділ 1	ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ВІДНОЛЕННЯ І ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ.....
1.1	Загальні відомості.....
1.2	Технічна і економічна доцільність відновлення деталей наплавленням.....
1.3	Характеристика сучасних способів зварювання.....
1.4	Характеристика способів відновлення деталей наплавленням.....
1.5	Вибір способу відновлення і наплавлення.....
Розділ 2	ПІДГОТОВКА ПОВЕРХНІ ДЕТАЛЕЙ ДО НАПЛАВЛЕННЯ І ВІДНОВЛЕННЯ.....
2.1	Технологічні методи підвищення зносостійкості деталей
2.2	Вплив режиму зварювання і наплавлення на міцність і довговічність.....
2.3	Вимоги до вибору матеріалів для зварювання і наплавлення.....
2.4	Контроль якості при наплавленні і відновлення.....
Розділ 3	ТЕХНОЛОГІЯ НАПЛАВЛЕННЯ ЗНОШЕНИХ ДЕТАЛЕЙ.....
3.1	Особливості технології наплавлення і відновлення.....
3.2	Технологія і устаткування різних способів наплавлення.
3.3	Способи технології наплавлення сталей.....
Розділ 4	УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ НАПЛАВЛЕННЯ І ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН.....
4.1	Устаткування для зварювання і наплавлення загального призначення.....
4.2	Автомати і технологічні комплекси для зварювання і наплавлення.....
4.3	Розточно-наплавлювальні комплекси.....
4.4	Технологія розточування і наплавлення.....
4.5	Уніфіковані установки для наплавлення.....
Розділ 5	ГАЗОТЕРМІЧНЕ НАПИЛЕННЯ.....
5.1	Терміни та основні положення.....
5.2	Переваги і недоліки технології напилення.....
5.3	Структура газо термічного покриття.....
5.4	Газополуменеве напилення.....
5.5	Детонаційне напилення.....
5.6	Електродугове напилення.....
5.7	Плазмове напилення.....
5.8	Газодинамічне напилення покриття.....
5.9	Вакуумно-конденсаційне напилення.....

Розділ 6 ТЕХНОЛОГІЧНЕ УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ	
ПОКРИТТЯ.....	
6.1 Класифікація устаткування для газо термічних процесів	
нанесення покриття.....	
6.2 Устаткування для газополуменового напилення.....	
6.3 Устаткування для детонаційного напилення.....	
6.4 Обладнання для електродугового напилення.....	
6.5 Устаткування для плазмового напилення.....	
ЛІТЕРАТУРА.....	

Розділ 1 ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ВІДНОВЛЕННЯ

І ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ

1.1. Загальні відомості

Метали складають значну частину таблиці Д. І. Менделєєва і при відповідних температурах та тиску можуть знаходитися в твердому, рідкому або газоподібному стані.

Метали поділяються на:

- ізоморфні — які розчиняються один в одному обмежено, а потім утворюють хімічне з'єднання;
- поліморфні — розчиняються один в одному необмежено.

Більшість машин, механізмів і їх деталей, виготовлені з металів і сплавів, які мають обмежений ресурс надійності і міцності. В процесі експлуатації надійність знижується внаслідок різного виду зношування і поломок.

Існує два основних метода відновлення деталей:

- зі змінням первинних (нормальних) розмірів;
- без зміни розмірів.

Для підвищення надійності, зносостійкості і міцності нових і відновлення зношених деталей застосовують різні методи, одним з яких є наплавлення, напилення та ін.

1.2. Технічна і економічна доцільність відновлення деталей наплавленням

Відновлення і наплавлення деталей, як і повторне використання різних матеріалів пов'язане з певними матеріальними і трудовими витратами, тому перед початком проведення цих робіт необхідно оцінити наскільки це доцільно з технічної і економічної точок зору їх здійснення.

Технічна доцільність відновлення враховує:

- 1) унікальність деталі, яку треба відновити;
- 2) серійність відновних робіт для рядових деталей;
- 3) міру зношування;
- 4) наявність умов для збору, підготовки і відновлення деталей;
- 5) наявність матеріалів;
- 6) ресурс відновленої деталі.

Наплавлення — це нанесення на поверхні деталей різними методами шару необхідної товщини і потрібного хімічного складу, що має заданий комплекс властивостей (підвищену міцність, зносостійкість, корозійну стійкість і ін.), а також відновлення зношеної поверхні.

Наплавлення — один з основних процесів реновації деталей, що дозволяє економити природні і енергетичні ресурси та значно поліпшити екологію.

Чорна металургія найбільш реноваційна галузь, як за фактичним обсягом відновлюваних деталей, так і по перспективі її розширення.

Зміцнення наплавленням дозволяє збільшити термін служби деталей в 2—3 рази. В загальному об'ємі робіт по відновленню деталей на ремонтних підприємствах різні способи складають, %:

- наплавлення під шаром флюсу — 31;
- вібродугове — 12;
- в середовищі вуглекислого газу — 20;
- порошковим дротом без флюсу і газового захисту — 10;
- плазмове — 1,5;
- електроконтактне — 6;
- гальванічні способи — 5;
- електромеханічна обробка — 1;
- електрошлакове наплавлення — 1,5;
- наплавлення рідким металом — 2;
- відновлення полімерами — 5;
- інші способи — 5.

Економічна ефективність наплавлення полягає в наступному:

- наплавлення одного кілограму металу при відновленні замінює виготовлення 15—25 кг нових деталей, а при зміцненні — 60—75 кг;
- один кілограм наплавленого металу відновлюючи або зміцнюючи у середньому 20 кг деталей, зменшує витрати металу на виготовлення нових деталей;
- після зміцнюючого наплавлення збільшується термін служби деталей в 2—5 рази;
- одна гривня вкладена в наплавлення дозволяє отримати економію від 5 до 10 грн.

Переваги та недоліки технології відновлення та зміцнення деталей.

Переваги:

- мобільність;
- реалізація в будь-яких просторових положеннях;
- можливі всі типи зварних з'єднань;
- нижчі вимоги до підготовки кромки;
- додаткове видалення дефектного шару потоком рідкого металу.

Недоліки:

- менша продуктивність;
- потрібні спеціальні заходи по утриманню рідкого металу;
- нерівномірний прогрів по товщині металу та можливо великий об'єм рідкого металу, що є причиною напружень та деформацій;
- розвиток дифузійних процесів та не завжди бажаних хімічних реакцій.

1.3. Характеристика сучасних способів зварювання

Основні завдання зварювання і наплавлення — це отримання технологічної і експлуатаційної міцності виробів згідно вимог виробництва і нормативних документів.

Мета технологічних процесів та комплексів які використовуються при наплавленні, відновленні та зміцненні деталей — одержання виробів з необхідними властивостями при найвищих техніко-економічних показниках, без особистої участі людини.

Соціальний аспект технологічних процесів та комплексів, припускає звільнення людини від безпосереднього виконання функцій керування процесами зварювання і наплавлення та передачу цих функцій автоматичним пристроям, що в останні роки здобуває все більшу значимість.

Зварювання — це процес отримання нероз'ємних з'єднань за допомогою встановлення міжатомних зв'язків між зварюваними частинами при їх місцевому нагріві або пластичній деформації (ГОСТ 2601—84).

Зварні нероз'ємні з'єднання повинні володіти гарною зварюваністю і схильністю до наплавлення.

Зварюваність — здатність металів або поєднання металів утворювати при встановленій технології зварювання з'єднання, що відповідає вимогам, які визначаються конструкцією і експлуатацією виробів (ГОСТ 2601—84)

За технологічною здатністю до зварювання і наплавлення сталі можуть бути поділені на наступні групи за еквівалентом вуглецю (C_e):

- а) сталі, які здатні до зварювання без обмежень ($C_e \leq 0,35 \% C$);
- б) сталі, з обмеженою здатністю до зварювання, для яких призначаються спеціальні технології зварювання ($0,35 \leq C_e \leq 0,60 \% C$);
- в) сталі умовно не здатні до зварювання ($C_e > 0,60 \% C$).

Існують понад 60 способів зварювання, найбільш поширеними з яких є:

1. Ручне дугове — застосовується для заварки тріщин, облому, приварювання накладок, вставок, латок.

2. Автоматичне і механізоване дугове — те ж і зварювання тонколистового матеріалу.
3. Аргоно-дугове — зварювання алюмінію і корозійностійких сталей.
4. Газове — заварка тріщин, облому, зварювання тонколистового матеріалу.
5. Контактне — зварювання тонколистового матеріалу.
6. Тертям — стикове зварювання деталей і їх елементів при підвищених вимогах до якості зварного з'єднання.
7. Термітне — зварювання великогабаритних і масивних деталей.
8. Електрошлакове — приварювання обломів, зварювання великогабаритних деталей.
9. Електронно-променеве — зварювання відповідальних деталей з підвищеною точністю.
10. Ультразвукове — зварювання кольорових металів, пластмас, сталей.
11. Високочастотне — зварювання корозійностійких сталей, пластмас.
12. Магнітно-імпульсне — зварювання різнорідних матеріалів.
13. Вибухом — те ж.
14. Тиском — зварювання деталей і елементів різних по конфігурації.
15. Дифузійне у вакуумі — зварювання відповідальних і дрібних деталей з підвищеною точністю.
16. Ковальське — зварювання невідповідальних деталей з невисокою точністю при підвищених вимогах до міцності зварного з'єднання.

1.4. Характеристика способів відновлення деталей наплавленням

Основні способи наплавлення і відновлення:

Дугове наплавлення

1. Дугове під флюсом (SAW) — наплавлення деталей діаметром більше 50 мм при підвищених вимогах до якості наплавленого металу і товщини шару наплавленого металу більше 1 мм.

2. Дугове в середовищі CO₂ (MIG) і суміші газів (MIG/MAG)) — наплавлення сталевих деталей діаметром більше 16 мм широкої номенклатури.
3. Дугове з газополум'яним захистом — наплавлення сталевих і чавунних деталей тих, що працюють в різних умовах.
4. Вібродугове — наплавлення сталевих деталей що працюють в різних умовах при невисоких вимогах до опору втоми.
5. Дугове порошковим дротом або стрічкою — наплавлення зносостійких шарів на деталі, що працюють в умовах інтенсивного зношування, ударних навантажень, у вузлах тертя.
6. Дугове в середовищі аргону (TIG) — наплавлення алюмінієвих деталей і деталей з корозійностійких сталей.
7. Контактне — наплавлення гладких циліндричних деталей зі зношенням > 1 мм.
8. Газове — наплавлення циліндричних і профільних деталей з місцевим зношенням при підвищених вимогах до зносостійкості.
9. Плазмове — наплавлення відповідальних деталей при підвищених вимогах до зносостійкості і опору втоми.
10. Багатоелектродне під флюсом — наплавлення деталей зі значним зносом та великою площею.
11. Лежачим електродом — наплавлення плоских поверхонь і поверхонь із складною конфігурацією зі значним зносом.
12. Електроімпульсне — наплавлення зовнішніх циліндричних поверхонь зі зношенням до 0,5 мм з обмеженням температури нагріву деталі.
13. Електроіскрове — нарощування і зміцнення поверхні зі зносом до 0,2 мм при невисоких вимогах до сплошності покриття.
14. Електрошлакове — наплавлення деталей зі зношуванням більше 6 мм.
15. Рідким металом — наплавлення деталей зі значним зношенням (більше 3 мм) при підвищених вимогах до зносостійкості і невисоких вимогах до стійкості проти ударних навантажень.

16. З одночасною деформацією — наплавлення деталей із зовнішнім шліцьовим профілем.

17. З одночасним різанням — наплавлення і обробка зносостійких матеріалів в нагрітому стані, обробка яких в холодному стані ускладнена.

18. Лазерне — наплавлення зносостійких матеріалів на відповідальні деталі із складним профілем.

19. Високочастотне — наплавлення зносостійких матеріалів на робочі органи і леза ґрунтообробних і землерийних машин.

20. Високочастотне у вогнетривкому середовищі — наплавлення проушин і цевок ланок гусениць тракторів.

Холодне пластичне деформування

1. Роздача — відновлення зовнішніх поверхонь порожнистих деталей з нежорсткими вимогами до внутрішнього розміру.

2. Роздача з одночасним витягом — відновлення спеціальним деформуючим інструментом зовнішніх поверхонь і довгих порожнистих деталей з не жорсткими вимогами до внутрішнього розміру.

3. Витяг — відновлення довжини деталей з нежорсткими вимогами до зовнішнього розміру.

4. Розкочування — закріплення додаткових ремонтних деталей в отворах.

5. Дорнування і калібрування — відновлення поверхонь отворів потім осадки або термічної дії.

6. Протягання — те ж.

7. Осадка — відновлення зовнішніх і внутрішніх поверхонь деталей при нежорстких вимогах до довжини.

8. Правка — відновлення форми.

9. Накатка — відновлення поверхні невідповідальних деталей і ін.

10. Обтиск — відновлення внутрішньої поверхні деталі при нежорстких вимогах до зовнішнього розміру.

11. Карбування — відновлення форми деталі, зміцнення зварних швів.

Гаряче пластичне деформування

1. Тиск в закритому штампі — відновлення форми і елементів деталі за рахунок перерозподілу металу з неробочих поверхонь на робочі для компенсації зношення.

2. Гідротермічна роздача — відновлення зовнішніх поверхонь порожнистих деталей з нежорсткими вимогами до внутрішнього розміру.

3. Термопластический обтиск — відновлення внутрішніх поверхонь порожнистих деталей.

4. Накатка — відновлення зубчастих профілів шестерень і зірочок.

5. Ротаційна деформація — відновлення зубчастих і шліцьових поверхонь.

6. Обтиск — відновлення внутрішньої поверхні деталі при нежорстких вимогах до зовнішнього розміру

7. Правка — відновлення форми

8. Витяг — відновлення довжини деталей з нежорсткими вимогами до зовнішнього розміру.

9. Осадка — відновлення зовнішніх і внутрішніх поверхонь деталей при нежорстких вимогах до довжини.

10. Роздача — відновлення зовнішніх поверхонь порожнистих деталей з нежорсткими вимогами до внутрішнього розміру.

11. Витискування — місцева деформація з метою відновлення профілю розмірів робочих поверхонь.

12. Відтяжка — відновлення форми робочих поверхонь і різальних крайок.

13. Термомеханічна обробка — відновлення фізико-механічних характеристик металу, зміцнення.

Нанесення полімерних матеріалів

1. Напилення (газополум'яне, в електростатичному полі, в псевдозрізженому шарі, відцентровим намазуванням) — відновлення форми поверхні облицювання і оперення, антифрикційних і електроізоляційних покриттів, посадочних поверхонь, закладення тріщин, пробоїн.
2. Литво під тиском, опресовуванням — відновлення антифрикційних, електроізоляційних і декоративних покриттів.
3. Намазування рідких прокладень, герметиків — відновлення герметичності з'єднань.

Застосування додаткових деталей

1. Обрізання і приварювання швидкозношувальних елементів — відновлення робочих органів ґрунтообробних, землерийних і меліоративних машин, екструдерів, змішувачів.
2. Бандажування — відновлення зовнішніх поверхонь, наприклад, кранових коліс.
3. Приварювання елементів і вкладишів — відновлення розмірів профільних поверхонь.
4. Постановка втулок і компенсаційних шайб — відновлення отворів і розмірних ланцюгів.

Хіміко-термічна обробка

1. Цементация і нітроцементация — поверхневе зміцнення.
2. Повторне азотування — відновлення деталей зі зносом не більше 0,02 мм, поверхневе зміцнення.
3. Дифузійне хромування — відновлення деталей зі зносом не більше 0,05 мм, поверхневе зміцнення.
4. Сульфохромування — відновлення деталей зі зносом не більше 0,01 мм, поверхневе зміцнення.
5. Дифузійне цинкування — відновлення деталей з мідних сплавів зі зношенням не більше 0,8 мм.

6. Дифузійне борування — поверхнєве зміцнення.

Електро механічна обробка:

1. Висадження і випрасовування — відновлення поверхонь нерухомих сполучень зі зносом до 0,2 мм.

Електрофізична обробка:

1. Електроконтактна, підводна, електроабразивна, анодномеханічна, електро-ерозійна — обробка наплавлених поверхонь тих, що мають високу твердість.

Паяння

1. Легкоплавкими припоями, тугоплавкими припоями, пайка — зварювання — відновлення герметичності з'єднань трубопроводів, відновлення інструменту.

Термічна обробка

1. Відпустка, нормалізація, відпал, загартування, поліпшення — відновлення фізико-механічних властивостей і структури матеріалу, зміцнення.

Електроіскрове (ЕІС) наплавлення

1. Електроіскрове наплавлення особливо точних деталей. Сучасний рівень розвитку зварювальної техніки й технології наплавлення відрізняє велика різноманітність джерел енергії, їх енергетичних характеристик і способів зварювання.

При розгляді процесів зварювання і наплавлення як об'єктів автоматичного керування доцільно виходити із загальних для всіх способів зварювання послідовності перетворення енергії.

Формування наплавленого металу можна розглядати як результат функціонування системи «джерело живлення — джерело енергії — устаткування для наплавлення і зварювання — виріб». Окремі компоненти цієї системи об'єднані зворотними зв'язками в складну багатозв'язкову систему. Дія цих

зв'язків проявляється в тому, що зміни процесу формування зварювання і наплавлення впливають на джерела нагрівання й живлення. Так, при дуговому напавленні зміни глибини проплавлення супроводжуються зміною напруги дуги, в результаті чого змінюється режим роботи джерела живлення. При електрошлаковому зварюванні і напавленні зміна температури шлакової і металевий ванни приводить до змін швидкості плавлення електрода й струму зварювального трансформатора.

У сучасних установках для зварювання і наплавлення живлення зварювальних ланцюгів використовують джерела змінного струму (трансформатори спеціальних конструкцій), джерела постійного струму (зварювальні випрямлячі й генератори різноманітних конструкцій), джерела живлення акумульованою енергією і ін.

З джерел енергії для зварювання і наплавлення найбільше поширення одержали: електрична дуга (дугове, плазмове зварювання і наплавлення); Джоулево тепло, що утворюється при проходженні електричного струму через розплав шлаків (електрошлакове зварювання) або метал деталей, що зварюються (контактне зварювання); спалювання газів і термічні реакції, електронний промінь (електронно-променеве зварювання); промінь лазера й ін.

Кожний процес зварювання і наплавлення можна охарактеризувати деякою кількістю узагальнених координат (параметрів процесу зварювання і наплавлення), між якими існують певні зв'язки. Наприклад, між струмом і напругою на дузі існує зв'язок, обумовлений властивостями джерела живлення. Частота коротких замикань дугового проміжку краплями розплавленого металу залежить від струму й напруги на дузі, але ця залежність не однозначна, вона має імовірнісний характер і може бути представлена у вигляді відповідної кореляційної функції.

Усі різноманітні параметри процесу відновлення та зміцнення деталей можна умовно розділити на три групи (табл. 2.1):

- енергетичні, що характеризують внесок енергії в процес утвору зварного з'єднання;

- кінематичні, що характеризують просторове переміщення або положення джерела нагрівання щодо виробу;

- технологічні умови, що характеризують, формування й кристалізації зварених швів, переносу електродного металу.

Таблиця 1.1. Параметри процесу відновлення та зміцнення деталей

Параметри процесу наплавлення		
Енергетичні	Кінематичні	Технологічні
Струм і напруга. Потужність джерела нагріву. Температура виробу і підігріву. Зусилля осадки. Термічна обробка. Тривалість окремих операцій процесу.	Швидкість подачі електроду, наплавлення, оплавлення і осадки. Амплітуда і частота поздовжніх і поперечних коливань електроду. Виліт і кут нахилу електроду. Швидкість переміщення виробу відносно джерела нагріву.	Спосіб захисту рідкого металу. Діаметр, виліт, кут нахилу електроду і зміщення зеніту. Положення виробу у просторі, форми і розміри розточення поверхні виробу під наплавлення.

У виробничих умовах технологічний процес зварювання піддається впливам — збурюванням, що порушують його нормальне протікання, що й приводять до відхилень показників якості зварного з'єднання від необхідних значень. На порозі третього тисячоліття зварювання є одним з провідних технологічних процесів створення матеріальної основи сучасної цивілізації.

1.5. Вибір способу відновлення і наплавлення

Вибір способу відновлення є складним техніко-економічним завданням, важкість якого полягає в тому, що доводиться порівнювати не лише показники вартості, але і враховувати вплив зносостійкості деталі на термін її служби після відновлення. Правильний вибір способу відновлення деталей

дозволяє збільшити термін їх служби, понизити загальну трудомісткість ремонту і простою машин.

Продуктивність різних і характеристика способів наплавлення наведена у табл. 2.2.

Вибір способу відновлення деталей зазвичай виконують в два етапи. Заздалегідь розглядають технологічні варіанти, що забезпечують відновлення службових якостей деталей, а потім з них вибирають найбільш оптимальні варіанти по одному або декільком узагальнювальним показникам.

Одним з таких показників є *відносна собівартість* — собівартість відновлення деталі, віднесена до її терміну служби після ремонту:

$$\frac{\sum C_{B1}}{t_{p1}} \geq \leq \frac{\sum C_{B2}}{t_{p2}}, \quad (1.1)$$

де C_{B1} і C_{B2} — собівартість відновлення деталі відповідно першим і другим способами; t_{p1} і t_{p2} — міжремонтні терміни служби деталі, відремонтованою першим і другим способами.

Таким чином, відносна собівартість — це основний критерій при оцінці доцільності і виборі способу відновлення деталі. Економічна ефективність розробленого технологічного процесу відновлення деталі визначається шляхом порівняння показників собівартості відновлення деталі з вартістю деталі за преysкурантом і собівартістю деталі різними способами.

Таблиця 1.2. Продуктивність різних і характеристика способів наплавлення

Спосіб наплавлення	Продуктивність, кг/год.	Частка основного металу в наплавленому, %	Товщина наплавленого шару (один прохід), мм
Газове з присадкою дротиків або дроту	0,5—1,5	1—3	0,8—5,0
Газопорошкове	0,5—3,0	1—3	0,3—3,0
Аргонодугове неплавким електродом	1,0—7,0	10—30	2,5 — 5,0
Плавким електродом у захисному газі	1,5—9,0	30—60	3,0 — 5,0
Ручне дугове покритими електродами	0,8—3,0	20—50	2,0—5,0
Під флюсом одним дротом	2,0—12,0	30—60	3,0—5,0
Під флюсом багатоелектродне	5,0—40	15—30	5,0—8,0
Під флюсом стрічкою	5,0—40	10—20	2,5—5,0
Дугове самозахисним дротом	2,0—9,0	25—50	2,5—5,0
Дугове самозахисною стрічкою	10 — 20	15—40	2,5—5,0
Електрошлакове двома електродними стрічками	10—60	5—15	1,5—50
Електрошлакове електродними дротами	20—60	10—20	6,0—50
Електрошлакове зернистими присадним матеріалом	20—200	5—10	15—50
Плазмово-порошкове	0,8—6,0	5—15	0,3—6,0
Індукційне	2,0—15	5—15	0,4—3,0

Ефективність відновлення деталі виражається через коефіцієнт ефективності:

$$K_d = \frac{C_H t_{в.ср}}{C_B t_{н.ср}} \leq 1 \quad (1.2)$$

де C_B і C_H — собівартість відповідно відновлення деталі і виготовлення нової; $t_{в.ср}$ і $t_{н.ср}$ — середні терміни служби відновленої і новою деталей.

Використання відновлення деталі наплавленням доцільне при умові:

$$\frac{C_B}{A \cdot K_{зн} t_{в.ср}} < \frac{C_H}{t_{н.ср}}, \quad (1.3)$$

де $K_{зн}$ — коефіцієнт зносостійкості сплаву по відношенню до матеріалу деталі; A — коефіцієнт, що враховує співвідношення, між коефіцієнтом довговічності K_d деталі і коефіцієнтом зносостійкості наплавлювальних матеріалів.

Після перетворення формули (2.3) отримаємо $C_B < A K_{зн} C_H$ або $C_B < K_d C_H$

Таким чином, визначення відносного техніко-економічного показника ефективності зводиться до розрахунку собівартості відновлення деталі і визначення коефіцієнтів відносної зносостійкості $K_{зн}$ або довговічності K_d .

Показник техніко-економічної ефективності може бути визначений по абсолютним E_a і відносним E_b показникам:

$$E_a = \left(\frac{C_H}{z_H} - \frac{C_B}{z_B} \right) \cdot V \cdot n; \quad E_b = \frac{C_H K_d}{C_B} \geq 1, \quad (1.4)$$

де t_H і t_B — терміни служби нової і відновленої деталей, виражені в об'ємах виконаної роботи або в годиннику; V — об'єм або тривалість роботи машини; n — число зношених однойменних деталей в машині.

Собівартість наплавленої деталі

$$C_B = C_H + Q_{зн} K_M \Pi_M + \Gamma_o T_H + H, \quad (1.5)$$

де $Q_{зн}$ — маса зносостійкого сплаву для наплавлення одного деталі; K_M — коефіцієнт, що враховує втрати сплаву на чад, огарки і т.д.;

C_m — ціна 1 кг наплавлювального матеріалу; G_o — тарифна ставка зварювальника; T_n — час наплавлення; H — накладні витрати.

Контрольні запитання

1. Технологічні процеси при напавленні.
2. Класифікація способів відновлення деталей.
3. Характеристика сучасних технологій зварювання і напавлення.
4. Технічна і економічна доцільність відновлення деталей напавленням.
5. Переваги та недоліки технології відновлення та зміцнення деталей.
6. Типи джерел енергії, які використовуються для напавлення на виробництві.
7. Класифікація параметрів процесу зварювання та напавлення.
8. Види витрат, що мають місце при ремонті та технічному обслуговуванні машин і механізмів.

Розділ 2

Підготовка поверхні деталей до наплавлення і відновлення

2.1. Технологічні методи підвищення зносостійкості деталей

Наука і техніка мають численні технологічні засоби для підвищення зносостійкості деталей. До основних технологічних засобів, які підвищують довговічність машин, можна віднести: застосування сучасних методів створення міцних матеріалів для різних умов експлуатації машин і отримання з них заготовок високої якості, близьких за формою і розмірами до готових деталей, застосування сучасних технологічних прийомів, що забезпечують виготовлення деталей заданої точності і стабільності як за розмірами, так і за фізико-механічними властивостями, застосування сучасних методів контролю якості матеріалів, заготовок і готових виробів за відповідними показниками надійності, застосування процесів зміцнюючої обробки для отримання необхідної якості робочих поверхонь деталей машин з високим опором зношування і поломок в різних умовах експлуатації.

Технологічні методи підвищення зносостійкості деталей машин накопичувалися поступово протягом десятиліть розвитку машинобудування. Ці методи узагальнені у різних монографіях і їх можна згрупувати наступним чином: — хіміко-термічна обробка: цементація, азотування, хромування, ціанування, сілицювання, алітування, сульфоціанування і сульфідкування та інші — термічна обробка: полум'яний поверхневий гарт, високочастотний гарт, поверхневий гарт з нагріванням в електроліті, лазерне зміцнення та ін.

2.2. Вплив режиму зварювання і наплавлення на міцність і довговічність деталей

Механічні властивості металів в зоні термічного впливу визначаються його хімічним складом і структурними перетвореннями в цій зоні. У свою чергу струк-

турні перетворення і глибина зони термічного впливу залежить від теплового режиму зварювання і наплавлення.

Розрахункова швидкість охолодження металу повинна відповідати його критичній швидкості. У разі розбіжності цих швидкостей, дійсну швидкість охолодження металу змінюють за рахунок погонної енергії дуги або застосуванням відповідного підігріву виробу.

Погонну ж енергію дуги регулюють зміною сили струму або швидкості переміщення дуги. При автоматичному зварюванні і напавленні це можна проводити у вельми широких межах, а при ручному — ця можливість обмежена. Тому при ручному зварюванні і напавленні необхідно більшою мірою використовувати додатковий підігрів виробу стороннім джерелом тепла. Іноді структуру і механічні властивості металу зони термічного впливу покращують застосуванням багат шарового зварювання і наплавлення.

Значення попереднього підігріву виробу вельми велике. Підігрівом можна запобігти від утворення небажаних структур перетворення в основному і напавленому металах і значно понизити залишкові напруги при зварюванні і напавленні. Необхідність і ступінь підігріву встановлюється виходячи з хімічного складу металу, розмірів і форми виробу, а так само місця відновлення, режиму і способу зварювання і наплавлення.

Теорія теплових процесів зварювання і наплавлення, дозволяє при відомому хімічному складі металу і заданій конфігурації виробу розрахувати — експериментальним шляхом визначити енергію попереднього підігріву і режим зварювання і наплавлення. Проте ці розрахунки складні, трудомісткі і тому їх доцільно застосовувати при проектуванні технологічних процесів для використання або ремонту серійної продукції. У ремонтній справі дуже часто доводиться мати справу з окремими деталями або дрібними партіями деталей. Тому режим підігріву вуглецевих сталей вибирають головним чином залежно від кількості вуглецю того, що міститься в металі відновлюваної деталі і використанні наступних даних:

Зміст вуглецю, %:	0,20—0,30	0,30—0,45	0,45—0,80
Температура підігріву, °C:	100—150	150—250	250—400

Теоретично, температура підігріву визначається за методом Д. Сеферіана, згідно з європейським стандартом EN 1011-2:2001 і документом "Рекомендації по зварюванню металевих матеріалів. Дугове зварювання феритних (вуглецевих і низьколегованих сталей" та ін.

Температура підігріву уточнюється залежно від форми і розміру виробу, різкості переходів елементів конструкції і ряду інших обставин. Вища температура підігріву розширює зону термічного впливу і ускладнює процес зварювання і наплавлення. Формування валиків наплавленого металу і стабільність горіння дуги погіршується. Погіршується захист розплавленого металу від кисню і азоту повітря. Нижча температура підігріву не забезпечує нормальних структурних перетворень в основному і наплавленому металах. Неправильно вибраний режим підігріву у виробів складної форми може викликати високі місцеві термічні напруження, неприпустимі викривлення і тріщини.

Основні вимоги, які необхідно виконати при відновленні валів, є забезпечення: розмірів і шорсткості відновлюваних поверхонь, їх твердості, суцільності покриття, міцності зчеплення нанесених шарів з основним металом, а також симетричності, співвісності, радіальності і торцевого биття оброблених поверхонь, паралельності бічних поверхонь, зубів шліцьових поверхонь і пазів, шпон, осі валів або базових поверхонь, твірних.

Переважає застосування при відновленні валів одержали наступні види наплавлення: у середовищі вуглекислого газу, вібродугове в різних захисних середовищах і під флюсом. Ці процеси застосовуються переважно при зносі більш 0,6 мм. Для відновлення поверхонь, що працюють в умовах нерухомих сполучень, широко поширене електроконтактне приварювання металевих шару (стрічки, дроту).

Відновлення гладких валів і вісій пропонується виконувати по трьох технічних маршрутах. По першому відновленню наплавленням з подальшою

механічною і термічною (при необхідності) обробкою деталі із значним зносом; по другому — деталі, для яких доцільно застосування електричного контактного приварювання стрічки або дроту; по третьому — деталі для яких технічно можливо застосування електромеханічної обробки. При цьому поверхня деталей зі значним зносом при відновленні їх по 2-му і 3-му маршрутах відновлюють наплавленням

2.3. Вимоги до вибору матеріалів для зварювання і наплавлення

В залежності від обраного способу наплавлення вибирають наплавлені матеріали, що дозволяють одержати бажані властивості наплавленого шару. Необхідно враховувати, що наплавлений метал завжди відрізняється за своїми властивостями і хімічним складом від присадкового, тому що при багатьох способах наплавлення відбувається його розплавлювання, взаємодія зі шлаком, захисною атмосферою й основним металом. Тому вибір присадного матеріалу з хімічним складом, що збігається з бажаним складом наплавленого шару в більшості випадків неможливий і небажаний. Для вибору наплавлених матеріалів рекомендується використовувати відповідну довідкову літературу.

Властивості матеріалів, які рекомендовано для зварювання конструкцій, наплавлення вузлів, деталей машин і механізмів, наведено в додатках.

Зварювальні матеріали, які використовують для зварювання металоконструкцій і наплавлення деталей, повинні забезпечити механічні властивості металу шва і зварного з'єднання (границя міцності, границя текучості, відносне подовження, кут загину, ударна в'язкість) — не нижче нижньої границі зазначених властивостей основного металу конструкції.

Зварювальні матеріали для механізованого та ручного дугового зварювання вибирають залежно від механічних властивостей та хімічного скла-

ду металу, що зварюється, способу зварювання з урахуванням призначення машин та особливостей її конструктивного виконання.

Деякі матеріали, які рекомендовано для зварювання і наплавлення наведено в додатках.

2.4. Контроль якості при наплавленні і відновлення

Якість відновлення деталей оцінюють ступенем відповідності набутих фізико-механічних властивостей і геометричних параметрів, заданих технічними умовами на відновлення деталей і ремонтним кресленням аналогічним властивостям і параметрам.

При відновленні деталей виконують летючий, проміжний і залишковий контроль. Летючий контроль проводять вибірково, як на окремих операціях, так і на готових деталях. Проміжний контроль виконують після операційно і по згрупованих операціях. Перевірку, як правило, здійснюють безпосередньо виконавці робіт, а також майстри, керівники підрозділів. Періодично проміжний контроль проводять працівники ВТК. Залишковий контроль всіх відновлених деталей проводять працівники ВТК підприємства.

При обробці різанням перевіряють відповідність розмірів, форми, взаємного розташування оброблених поверхонь і їх шорсткість вимогами ремонтних креслень або технічних умов. Для цієї мети використовують універсальні вимірювальні інструменти, граничні калібри, пристосування і прилади, профілометри.

Періодично перевіряють стан технологічного устаткування, пристосування, ріжучого і вимірювального інструменту на робочих місцях, а також режиму обробки (швидкість різання, подачі, припуск на обробку).

При контролі шийки валів і отвору вимірюють в декількох площинах і перетинах. Шліцьові частини валів і шліцьові маточини контролюють по зовнішньому і внутрішньому діаметрах шліців, товщині кожного зуба, універсальними засобами вимірювання, комплексними калібрами або новими деталями,

що сполучаються. Різьбові частини валів і отвору перевіряють калібром-кільцем і калібром-пробкою на всій довжині різьблення, взаємне розташування поверхонь — спеціальними приладами з індикаторами.

При зварюванні і напавленні перевіряють якість швів, товщину напавленого металу, оброблюваність, щільність напавленого металу і його твердість, а також режим напавлення. Напливи, підрізи, тріщини, кратери, непровари, пори, раковини, шлакові включення виявляють при огляді неозброєним оком і через лупу. Відповідальні деталі після попередньої обробки піддають магнітній або ультрафіолетовій дефектоскопії.

Герметичність контролюють гасом або повітрям при певному тиску, а при необхідності — гідравлічним методом на спеціальних стендах. Твердість напавленого металу визначають з використанням твердомірів.

Гальванічні покриття контролюють за зовнішнім виглядом обложеного металу. При огляді може бути використана лупа. При контролі виявляють тріщини, пори, відшаровування осаду від основного металу, дендритні нарости, плями, пригар. Міцність зчеплення осаду з основним металом перевіряють методом нанесення на поверхню осаду гострим шабером подряпин, що перехрещуються, глибиною до основного металу і через лупу оглядають місця подряпин. Відшаровування осаду в цих місцях свідчить про погану зчіплюваність. В окремих випадках зчіплюваність перевіряють на спеціальних зразках.

Твердість гальванічних покриттів контролюють на приладах типу ПМТ-3 або за допомогою твердоміра Віккерса. У гальванічних цехах систематично контролюють склад електролітів, устаткування, режим процесу, якість підготовчих операцій.

На термічних ділянках контролюють режими термообробки і твердість оброблених поверхонь за допомогою твердомірів.

Для забезпечення високої надійності контрольно-вимірювальних операцій всі вимірювальні прилади і інструменти повинні періодично піддаватися перевірці через встановлені проміжки часу, що гарантують підтримку їх точно-

сті в заданих межах.

Контрольні запитання

1. Способи очищенні прокату, деталей та зварних і наплавлених вузлів.
2. Процес дефектації і сортування деталей машин.
3. Технологічні методи підвищення зносостійкості деталей.
4. Захист робочих поверхонь пар тертя від забруднень.
5. Вплив режиму зварювання і наплавлення на міцність і довговічність деталей.
6. Стадії та послідовність проектування технологічного процесу.
7. Розрахунок та призначення параметрів режиму відновлення.
8. Термічна обробка деталей.

Розділ 3

ТЕХНОЛОГІЯ НАПЛАВЛЕННЯ ЗНОШЕНИХ ДЕТАЛЕЙ

3.1. Особливості технології наплавлення і відновлення

При відновленні і ремонті деталей у першому випадку наплавлення виконують приблизно тим же металом, з якого виготовлений виріб, проте таке рішення не завжди доцільне. Іноді при виготовленні нових деталей (і навіть при ремонті) доцільно на поверхні одержати метал, що відрізняється від металу деталі.

Дійсно, у ряді випадків умови експлуатації поверхневих шарів значно відрізняються від умов експлуатації всієї решти матеріалу виробу. Так, наприклад, якщо деталь (виріб) повинна визначати загальна міцність, яка залежить від властивостей металу і його перетину, то поверхневі шари часто додатково повинні працювати на абразивний або абразивно-ударний знос (що направляють станини, деталі ходової частини бульдозерів і ін.). Умови роботи можуть ускладнюватися підвищеною температурою, ерозійно-корозійною дією навколишнього середовища (морської води, різних реагентів в хімічних похідних та ін.).

Іноді такі деталі і вироби цілком виготовляють з металу, який забезпечує і вимоги до експлуатаційної надійності роботи його поверхні. Проте це не завжди якнайкраще і, як правило, не економічне рішення. Часто виявляється доцільно всі вироби виготовляти з дешевшого і досить працездатного металу для конкретних умов експлуатації і лише на поверхнях, що працюють в особливих умовах, мати необхідний по товщині шар іншого матеріалу. Іноді це досягається застосуванням біметалів (низковуглецева сталь + корозійностійка сталь, сталь + титан та ін.), а також поверхневим зміцненням (поверхневим гарту, електроіскровою обробкою та ін.), нанесенням тонких поверхневих шарів (металізацією, напиленням та ін.) або наплавленням шарів значної товщини на по-

верхню.

У останньому випадку для виготовлення деталей звичайно застосовують, відносно прості сталі (наприклад, низковуглецеві), а на робочі поверхні наплавляють, наприклад, бронзу, кислотостійкі сплави, що працюють на тертя і ін. При цьому, як правило, хімічний склад наплавленого шару може значно відрізнятися від складу основного металу. Товщина наплавленого шару металу може бути 0,6—10 мм і більше. Частка основного і додаткового металів в утворенні шва при різних способах наплавлення (одно- і трьохелектродний дріт, стрічка, порошковий дріт, присадки, кількість шарів, а також режим наплавлення, попередній підігрів та ін.), чинять вплив на глибину проплавлення, властивості і якість наплавленого шару металу.

Залежно від умов експлуатації поверхневих шарів різних виробів вимоги до наплавленого шару (його хімічного складу, властивостей та ін.) різні.

Найбільшого поширення набули наплавлювальні шари, які можна класифікувати в основному по п'яти групах:

- 1) сталі (вуглецеві і високовуглецеві, хромомарганцеві, хромисті і високохромисті, хромонікелеві, високовольфрамові і молібденові);
- 2) спеціальні сплави на основі заліза (високохромисті чавуни, сплави з хромом і бором, сплави з кобальтом, молібденом, вольфрамом);
- 3) сплави на основі нікелю і кобальту (хромонікелеві сплави з бором і кремнієм, нікелеві сплави з молібденом, кобальтові сплави з хромом і вольфрамом);
- 4) карбідні сплави (з карбідами вольфраму, ванадію, хрому);
- 5) сплави на мідній основі (бронза алюмінієві, олов'яно-фосфористі).

Усередині кожної з цих груп є велика кількість різних варіантів складів.

Звичайно наплавляють на конструкційні вуглецеві або низько- і середньолеговані сталі.

При наплавленні мартенситних, аустенітних сталей можливе утворення

крихких прошарків проміжних складів. При наявності таких прошарків можливі крихкі руйнування (утворення тріщин, відшарування шару від основного металу) ще при виготовленні виробу.

3.2. Технологія і устаткування різних способів наплавлення

3.2.1. Основні матеріали

Вуглецеві сталі. В залежності від кількості вуглецю сталі звичайної якості поділяються на:

- низьковуглецеві ($C \leq 0,25 \%$);
- середньовуглецеві ($0,25 \leq C \leq 0,35 \%$);
- високовуглецеві ($C > 0,35 \%$).

Температурний діапазон використання $T = -40 \dots +425 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Вуглецеві сталі — найбільш поширений конструкційний матеріал.

Леговані сталі за ступенем легованості розділяють на:

- низьколеговані $\sum_{\text{Л}} = 2,5 \dots 4,0 \%$;
- середньо леговані $\sum_{\text{Л}} = 2,5 \dots 5,0 \%$;

Температурний діапазон використання $T = -70 \dots +450 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

- високолеговані $\sum_{\text{Л}} > 5,0 \%$.

Високолеговані сталі класифікуються в залежності від основних легуючих елементів та призначення: корозійностійкі; жаростійкі (окалиностійкі); жароміцні.

В залежності від мікроструктури сталі розділяють на наступні структурні класи: перлітний, мартенситний, феритний і аустенітний. Низьколеговані сталі відносяться до перлітного класу, середньолеговані до перлітного або мартенситного, а високолеговані — до мартенситного або наступних двох класів.

3.3. Способи технології наплавлення сталей

3.3.1. Ручне електродугове наплавлення

Ручне електродугове наплавлення виконують на постійному і змінному струмі штучними неплавкими або плавкими електродами. Як неплавкі електроди найчастіше використовують графітові (вугільні) стержні. На поверхню, що наплавляється наносять шар наплавлювальної суміші або пасти відповідного складу і розплавляють теплом дуги. Товщина наплавленого шару 1—3 мм. Вугільним електродом по шару суміші найчастіше наплавляють плоскі поверхні. Поширеніше наплавлення плавкими покритими електродами.

Переваги способу: простота і маневреність. Недоліки: низька продуктивність (1—3 кг/ч), важкі умови праці, зниження втомної міцності наплавлених деталей.

Для вуглецевих сталей електроди вибирають за показником σ_B і HB або HRC.

3.3.2. Автоматичне наплавлення під флюсом

Перевагами автоматичного наплавлення є: безперервність процесу, що досягається в результаті використання електродного дроту або стрічки у вигляді великих мотків; підведення струму до електроду на мінімальній відстані від дуги, що дозволяє застосовувати струми великої сили без перегрівання електродів, велика продуктивність цього процесу.

З усіх способів автоматичного і механізованого наплавлення найбільше поширення отримало наплавлення під флюсом. Схема цього способу показана на рис. 3.1.

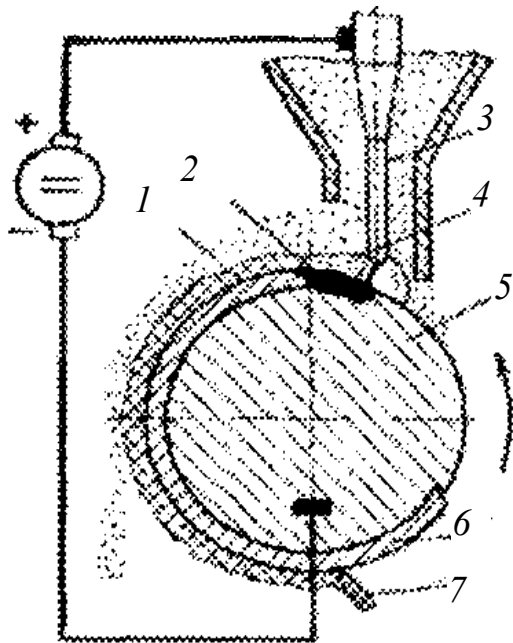


Рис. 3.1. Схема наплавлення: 1 — флюс; 2 — рідкий метал; 3 — електрод; 4 — струмопідвід; 5 — газовий міхур; 6 — валик; 7 — шлакова корка

При використанні пемзоподібних флюсів, які мають меншу насипну масу, рухливість дуги збільшується. Формуються широкі шви з малою опуклістю. Застосовуються такі флюси, коли є небезпека підрізів. Через знижені захисні властивості більші вимоги по вологості. Більш великозернистий флюс зумовлює формування шва як пемзоподібний. Використовується при великій потужності

дуги. При автоматичному на-

плавленні під плавним і агломерованим (керамічним) флюсом формується найбільш якісний шов. Необхідний рівень механічних властивостей наплавленого металу, технологічної і експлуатаційної міцності, забезпечується дротами марок фірм ТМ ВЕЛТЕК, ІЕС ім. Є. О. Патона, ESAB, Tubrodur, Lincoln та ін.(рис.3.2).

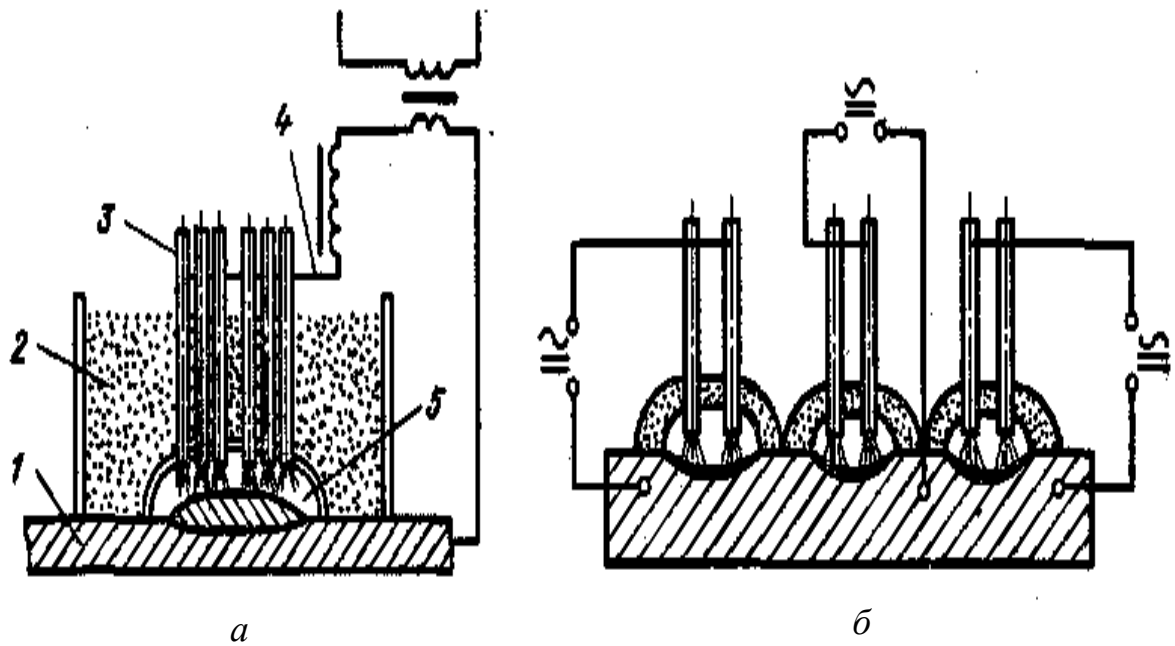


Рис. 3.2. Схема багатоелектродного під флюсом (а) і багатодугового наплавлення (б): 1 — основний метал; 2 — флюс; 3 — дроти

При наплавленні електродною стрічкою (рис. 3.3, а—з) досягаються мала глибина проплавлення основного металу і можливість наплавити за один прохід валик шириною до 100 мм.

При наплавленні електродною стрічкою не завжди можна отримати наплавлений метал необхідного хімічного складу. Щоб уникнути цього, наплавлення ведуть комбінованими електродами (рис. 3.3, а, б).

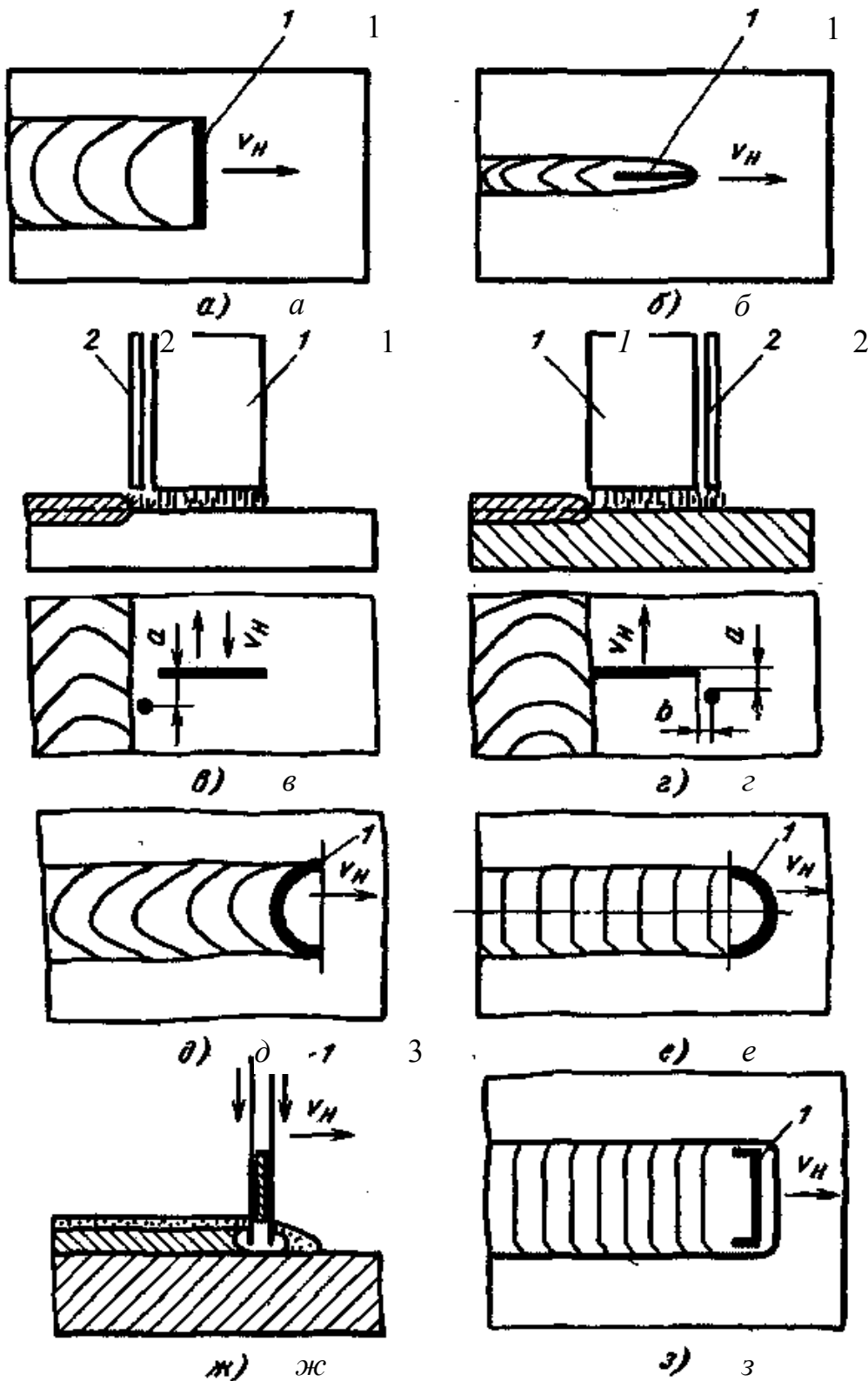


Рис. 3.3. Схема наплавлення дротом і стрічкою: 1 — електродна стрічка; 2 — електродний дріт; 3 — швидкість зварювання

Діапазон режимів наплавлення при яких склад наплавленого металу відклоняється в межах $\pm 10\%$ від номінального приведено на рис. 3.4.

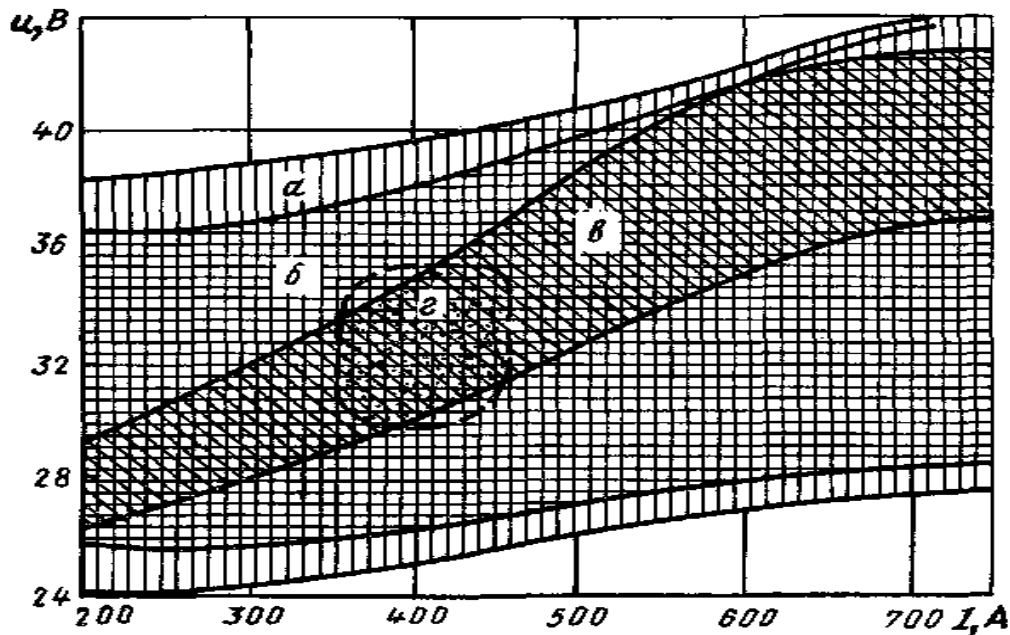


Рис. 3.4. Режимы наплавления легуемым присадным материалом (а), порошковым дротом (б), под легуемым флюсом (в), по шару легующих смеси (г)

3.3.3. Електрошлакове наплавлення

Найбільшого поширення електрошлакове наплавлення (ЭШН) набуло при наплавленні на вироби шарів металу великої товщини (валки прокатних станів, заготівлі для біметалічного прокату і т.п.), при якій якнайповніше реалізуються усі її переваги. Цей спосіб використовується для нанесення зносостійких, жаростійких, корозійностійких і інших покриттів з особливими властивостями на поверхні деталей машин металургійного, нафтохімічного, гірничодобувного і будівельного устаткування.

Переваги електрошлакового наплавлення:

- висока стійкість процесу і нечутливість до короткочасних змін струму і його перериванню;
- висока продуктивність (до 150 кг наплавленого металу в годину);

- економічність процесу (на наплавлення рівної кількості електродного металу електроенергії витрачається на 15—20 % менше, ніж при дуговому наплавлення);

- рафінування (очищення) металу від шкідливих домішок і високий захист ванни рідкого металу від повітря;

- можливість отримання за один прохід наплавленого шару практично будь-якої товщини (від декількох міліметрів до десятків сантиметрів);

- можливість забезпечення малої величини проплавлення основного металу.

Недоліки електрошлакового наплавлення :

- неприпустимість переривання процесу до закінчення наплавлення;

- необхідність виготовлення технологічного оснащення, що формує шар, що наплавляється (в деяких випадках);

- крупнозерниста структура металу шва і зони термічного впливу.

Електрошлакове наплавлення здійснюють за двома схемами.

Перша схема (рис. 3.5) нагадує схему електрошлакового зварювання; залежно від конфігурації поверхні, що наплавляється, так і електродів використовують або стрічку (в основному наплавлення на плоску поверхню), або електродний дріт. При використанні дроту для забезпечення рівномірності проплавлення основного металу його переміщують уздовж поверхні, що наплавляється.

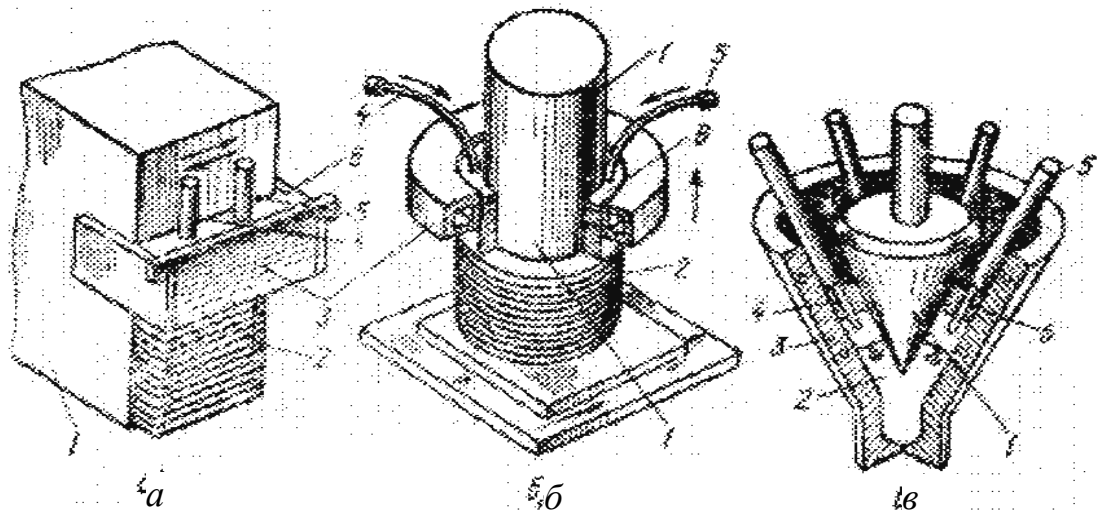


Рис. 3.5. Електрошлакове наплавлення зовнішньої плоскої (а), циліндричної (б) і конічної поверхні (в) дротяним електродом: 1 — електродний дріт; 2 — деталь, що наплавляється; 3 — шлакова ванна; 4 — кристалізатор; 5 — наплавлений шар; 6 — зварювальна ванна

При напавленні на циліндричну поверхню цього досягають обертанням деталі або наданням електродам коливального руху по колу, еквідистантній поверхні, що наплавляється. Дана схема напавлення забезпечує напавлення з відносно малою долею участі основного металу ($m = 0,10$). Проте її використовують в тих випадках, коли товщина шару, що наплавляється, перевищує 16—20 мм. При меншій товщині шару важко підтримувати електрошлаковий процес з-за перегрівання і закипання шлаку.

Друга схема здійснюється при напавленні стрічками. В цьому випадку шлакова ванна частково утримується флюсом, а основна маса рідкого шлаку розташовується між стрічками. Цьому сприяють сили пінч-ефекту, завдяки дії яких шлак піднімається досить високо. Висота дзеркала шлакової ванни досягає 20—30 мм. Проміжок між стрічками складає 0,1—1,0 ширини стрічки.

3.3.4. Наплавлення відкритою дугою і в захисних газах

При наплавлення відкритою дугою і в захисних газах (MIG/MAG, TIG) в якості захисних газів використовують Ar, He, CO₂, N₂ і поєднання різних сумішей на основі аргону: Ar+CO₂, Ar+O₂, Ar+CO₂+O₂, Ar+O₂, Ar+N₂ та ін. Наплавлення ведуть плавким електродом на зворотній полярності з струменевим перенесенням рідкого металу. Діоксид вуглецю використовується лише для однопровідного зварювання. Технологію наплавлення призначають, виходячи з умов експлуатації.

При наплавленні деталей малого діаметру, глибоких внутрішніх поверхонь і ряду високолегованих сплавів ускладнено видалення шлакової корки. Цього недоліку позбавлено механізоване наплавлення відкритою дугою і наплавлення в захисних газах. При наплавленні відкритою дугою як електрод використовується порошковий дріт. Для захисту металу від кисню і азоту повітря в його зміст вводять, окрім легуючих елементів, газо- і шлакотворні компоненти і розкислювачі (при наплавленні великих деталей використовують не порошковий дріт, а стрічку). Іноді використовують голий легований дріт, що містить в невеликих кількостях РЗМ.

Зварювання і наплавлення у діоксиді вуглецю здійснюються автоматичним і напівавтоматичним способами. При напівавтоматичному зварюванні і наплавленні механізовані тільки операції подачі вуглекислого газу і електродного дроту, при автоматичному зварюванні механізована також операція переміщення електроду відносно деталі.

Схема установки для напівавтоматичного наплавлення в середовищі захисного газу показана на рис. 3.6.

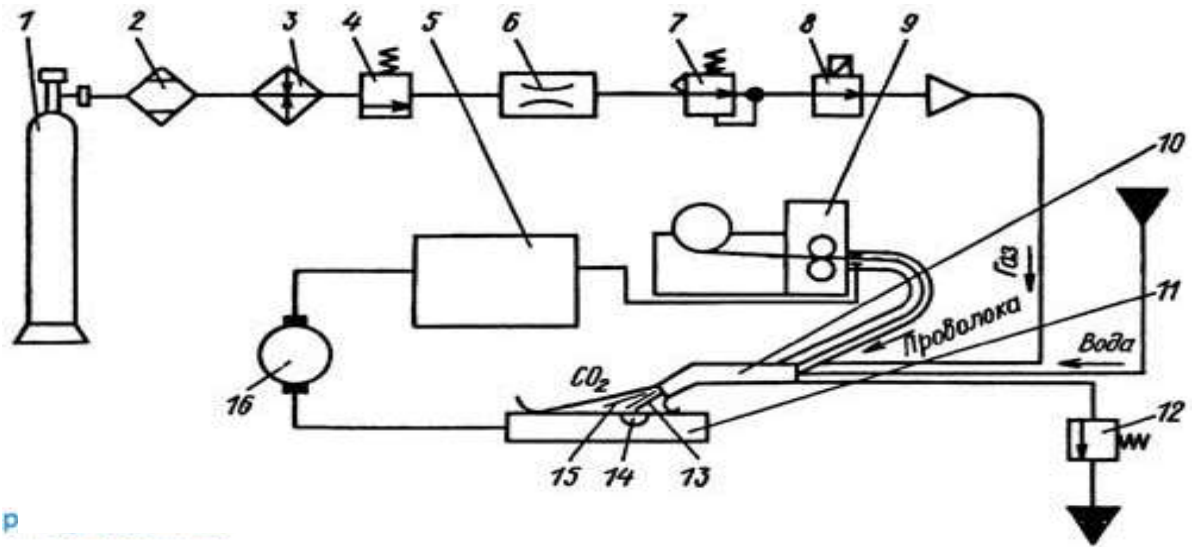


Рис. 3.6. Схема установки для напівавтоматичного наплавлення в суміші газів: 1 — балон з газом CO_2 ; 2 — осушувач; 3 — підігрівач; 4 — редуктор; 5 — апаратний ящик; 6 — витратомір; 7 — регулювальник тиску; 8 — електромагнітний клапан; 9 — механізм подачі дроту; 10 — наплавлювальна голівка; 11 — деталь для відновлення; 12 — водяний насос з регулювальником тиску; 13 — електрод; 14 — зварювальна ванна

Відновлення деталей в середовищі вуглекислого газу і сумішах використовують для наплавлення циліндричних і плоских поверхонь деталей, зварювання тонких листів. Наплавлений шар може мати товщину 0,8—1,5 мм.

На якість напавленого шва значний вплив робить вибір електроду, залежний від питомого електричного опору дроту, його діаметру і величини струму.

Режими наплавлення. Автоматичним наплавленням в середовищі вуглекислого газу зазвичай відновлюють деталі невеликого діаметру — до 100 мм, які іншими видами наплавлення відновлювати скрутно. Твердість металу після наплавлення в середовищі вуглекислого газу складас: без термообробки 198—237 НВ; після нормалізації 174—200 НВ; після загартування і середньої відпустки 272—320 НВ.

Режими наплавлення деталей в середовищі CO₂ приведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1. Режими наплавлення деталей

Діаметр, мм		Швидкість подачі дроту, м/год	Напруга, В	Сила струму, А	Швидкість наплавлення м/ч	Товщина слою, мм
деталі	електродного дроту					
10	0,8	175	17—18	75—130	40—45	0,8
40	1,0	200—235	18—19	150—180	80—100	1,0

На якість наплавленого шва чинить вплив відстань від сопла для подачі вуглекислого газу до поверхні деталі і витрата вуглекислого газу. З практики встановлено, що ці режимні параметри повинні знаходитися в наступних межах: при наплавленні електродним дротом $d = 0,5—1,2$ мм, відстань від сопла до деталі становить 7—12 мм; витрата CO₂ 0,4—0,6 м³/год; при наплавленні електродним дротом $d = 1,6—2,5$ мм, відстань від сопла до деталі складає 15—20 мм; витрата CO₂ 0,6 —0,75 м³/годину.

3.3.5. Матеріали для електродугового наплавлення

При автоматичному і механізованому електродуговому наплавленні вуглецевих і низьколегованих сталей застосовують *плавлені флюси* ОСЦ-45, ОСЦ-45М, АН-348А, АН-348АМ; для легованих сталей — АН-22, АН-26, АН-10, АН-20, АН-60, АН-80. Широке розповсюдження отримали *агломеровані (керамічні)* флюси алюмінатно-основного і алюмінатно-рутиловго типу АНК-47, АНК-51, АНКС-199, АНКС-28, 48АФ50-48АФ-60, ЭЛЗ-ФКС-1/55ТМ і ін.

По ступені легування металу шва керамічні флюси діляться на ті, що слабо легують — для зварювання низковуглецевих і низьколегованих сталей (АНК-35, АНК-44, АНК-45, АНКС-28, АНКС-199,

48АФ-50, 48АФ-51 та ін.) і що сильно легують — для зварювання спеціальних сталей (АНК-34, АНК-47, АНК-48, 48АФ-56 та ін.). Використовують також зарубіжні флюси — ОК Flux10.71, Lincoln N та ін.

Суцільні дроти для наплавлення Нп-3ОХГСА, Нп-40Х13, Нп-40Х2Г2М, Нп-50ХНМ, Нп-60Х3В10Ф Нп-30Х13, Нп-03Х15Н35Г7М6Б та ін.

Спечені електродні стрічки ЛС-5Х4В3ФС, ЛС-5ХВ2М2ФС, ЛС-У10Х7ГР1, ЛС-10Х14Н3, ЛС-20Х10Г10Т, ЛС-08Х21Н9Г.

Порошкові дроти і стрічки для зварювання і наплавлення:

За способом захисту порошкові дроти і стрічки діляться на два види:

- а) самозахисні — ППс. ПЛс;
- б) для зварювання з додатковим захистом газом, сумішами (ППг) і флюсом (ППф).

По типу заповнення сердечника порошкові дроти і стрічки для зварювання і наплавлення поділяють на:

- а) рутил-органічні: ПП-АН1, ПП-1ДСК, ПВС-1С, ПВС-1Л, ПВС-3 та ін.;
- б) рутилові: ПП-АН8, ПП-АН10, ОК Tubrodur 14.71, ОК Tubrodur 15.40, ОК Tubrodur 15.52, ОК Tubrodur 15.60, ОК Tubrodur 14.71-15.65 та ін.;
- в) карбонатно-флюоритні: ПП-АН2, ПП-АН3, ПП-АН6, ПП-АН-11, ОК Tubrodur14.70, ОК Tubrodur 15.42, ОК Tubrodur 15.43 та ін.;
- г) рутил-флюоритні: ПП-АН4, ПП-АН5, ПП-АН9 та ін.;
- д) флюоритні: ПП-2ДСК.

Порошкові дроти для зварювання виготовляють наступних типів: ПП-АН1-ПП-АН11, ПП-АН39, ПП-АНТ, ПП-2ДСК, ВЕЛТЕК-Н210, ВЕЛТЕК-Н280, ППс-ТМВ3, ППс-ТМВ57 та ін. Порошкові дроти і стрічки також використовують для відновлювального наплавлення. Вони забезпечують більш високий рівень механізації і якості.

Дроти: рутил-органічного типу — ПП-АН1, ПП-1ДСК формують шви аналогічно електродам з рутиловим покриттям. Вони малочутливі до іржі, зварювання ведуть на постійному струмі зворотної полярності.

Дроти карбонатно-флюоритного типу ПП-АН2, ПП-АН3, ПП-АН6 формують шов аналогічно електродам з основним покриттям. Вони самозахисні, малочутливі до іржі, використовують широкий діапазон струму, варять на постійному струмі прямої полярності

Порошкові дроти для наплавлення виготовляють наступних типів: ВЕЛТЕК-Н230, ВЕЛТЕК-Н290РМ; ВЕЛТЕК-Н370РМ, ВЕЛТЕК-Н480С, ВЕЛТЕК-Н600, ВЕЛТЕК-Н550, ВЕЛТЕК-Н620, ПП-АН122, ПП-АН-130, ПП-АН170, ПЛ-Нп-300Х25С4Н2Г2-Б-У ОК Tubrodur 15.73, ОК Tubrodur 15.80...15.85 та ін.

Порошкові стрічки виготовляють наступних типів: ПЛ-АН111, ПЛ-АН171, ПЛ-АН150, ПЛ-У25Х25Г3Ф2Р, ПЛ-У30Х30Г3ТЮ, ПЛ-У40Х38Г3РТЮ, ПЛ-Нп-120Х22Р3Г2С-Б-У, ПЛ-Нп-500Х40Н40С2ГРЦ-Б-С, ПЛ-Нп-400Х20Б7М6Н5В2Ф-Б-У і ін.

Зварювання відкритою дугою (без захисту CO_2 , сумішами або флюсом), здійснюється самозахисними порошковими дротами і стрічками рутил-органічного, карбонатно-флюоритного і флюоритного типів. За останнє десятиліття в Інституті електрозварювання ім. Е. О. Патона розроблений цілий ряд нових марок порошкового дроту. Дріт марок ПП-АН59, ПП-АН63, ПП-АН69 призначена для зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей масового призначення, а ПП-АН61, ПП-АН67 для зварювання високоміцних низьколегованих сталей.

Дроти для наплавлення:

Дроти марок ПП-АН70М, ПП-АН72М мають металевий стрижень (металкор) і призначені для зварювання в CO_2 і сумішах $\text{Ar}+\text{CO}_2$. Ці марки поєднують високу продуктивність плавлення (вище, ніж суцільним дротом) з великим виходом наплавленого металу (95—96 %), забезпечують високі механічні властивості металу шва і низький вміст в ньому водню. При викорис-

танні порошкового дроту у поєднанні із захистом дуги вуглекислим газом собівартість наплавленого металу вища, ніж у варіанті зварювання дротом суцільного перерізу.

Ця різниця ще більше збільшується при використанні газової суміші $\text{Ar}+\text{CO}_2$. Проте високі якісні характеристики процесу і механічні властивості швів і зварних з'єднань змушують користувачів віддавати перевагу порошковому дроту.

Головна відмінність швів, які отримані з використанням порошкових дротів і стрічок — малий вміст неметалевих включень, що забезпечує високі показники ударної в'язкості при температурі до $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Властивості матеріалів для зварювання і наплавлення наведено в додатках.

3.3.6. Автоматичне вібродугове наплавлення

Автоматичне вібродугове наплавлення в струмені рідини, що охолоджує, знаходить велике застосування при відновленні деталей. Вона відрізняється від звичайного автоматичного зварювання тим, що ведеться електродом, що коливається.

В результаті цього деталь прогрівається на глибину до 2 мм і температури $40\text{—}80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Це дозволяє майже без зміни фізико-механічних властивостей і хімічного складу металу відновлювати зношені поверхні деталей.

Вібродугове наплавлення застосовується для отримання тонких і дуже міцних покриттів завтовшки $0,8\text{—}2,5\text{ мм}$ на круглих деталях діаметром $15\text{—}300\text{ мм}$.

Схема процесу наплавлення приведена на рис. 3.8 і рис. 3.9.

Цей спосіб відновлення застосовується для наплавлення зношених плоских, циліндричних, конічних і сферичних поверхонь деталей з товщиною від $0,5$ до $3\text{—}3,5\text{ мм}$.

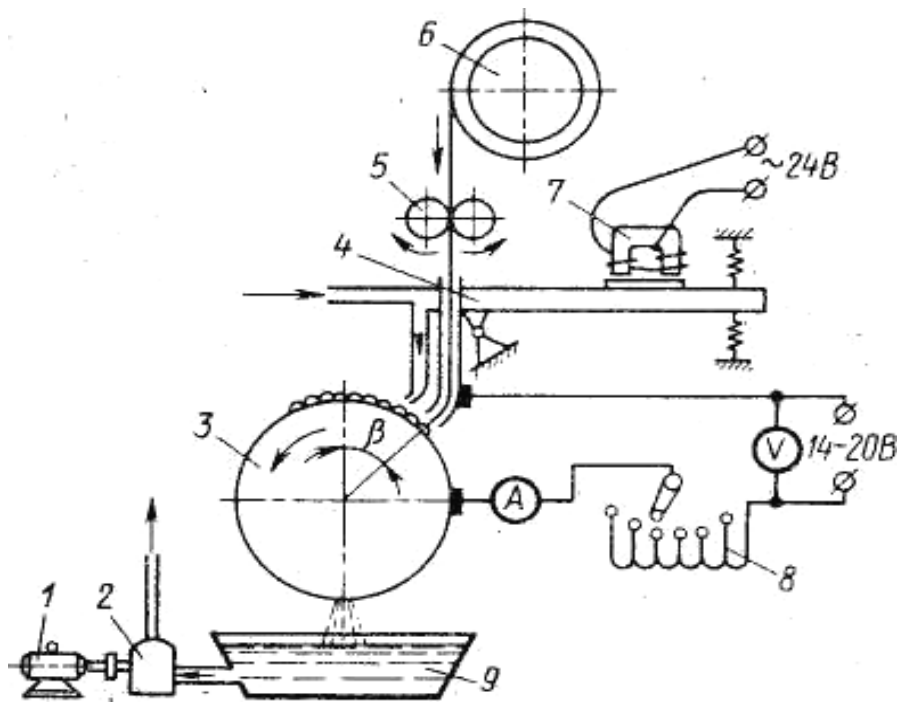


Рис. 3.8. Схема установки для автоматичного вібродугового наплавлення: 1 — електродвигун; 2 — насос; 3 — деталь; 4 — вібрируючий мундштук; 5 — механізм подачі дроту; 6 — касета; 7 — вібратор; 8 — індуктивний опір; 9 — бак

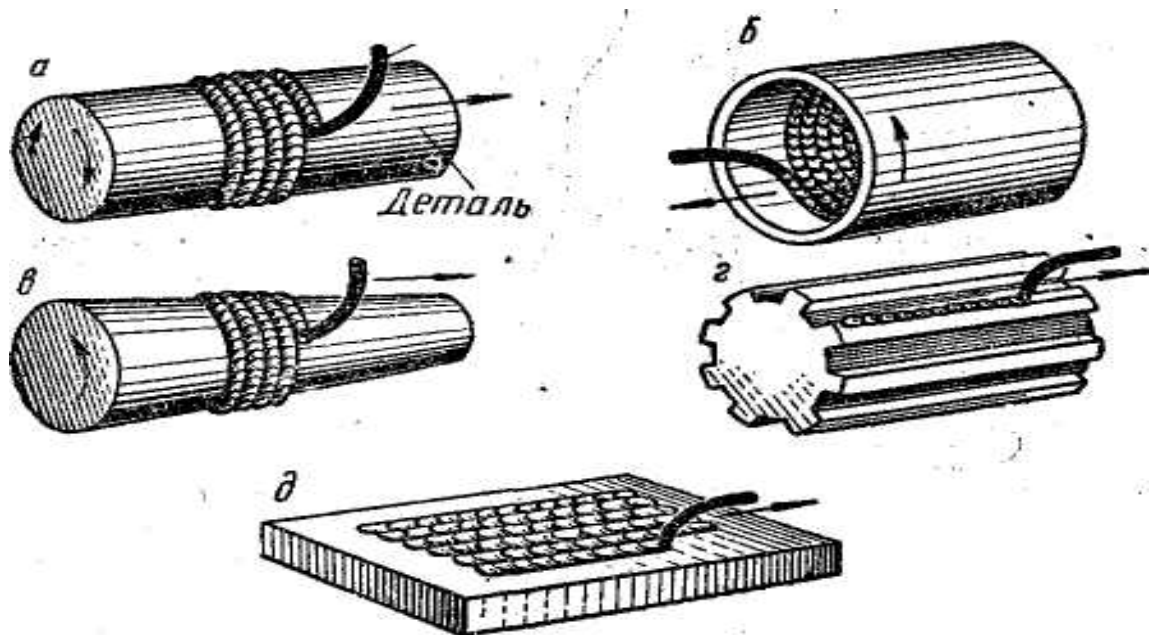


Рис. 3.9. Різні варіанти вібродугового наплавлення: а — наружні циліндричні поверхні; б — внутрішні циліндричні поверхні; в — конічні поверхні; г — бічні поверхні шліців (чи пазів шпонок); д — плоскі поверхні

Наплавлення ведуть з використанням електродного дроту і рідини, що охолоджує, на токарних верстатах для деталей циліндричної форми і на спеціальних пристосуваннях для деталей плоскої форми, з установкою на супорті наплавлювальної голівки, що подає до деталі, що наплавляється, проволоку і рідину, що охолоджує.

Устаткування для наплавлення. У комплект устаткування для автоматичного вібродугового наплавлення деталей в середовищі рідини, що охолоджує, входять токарний верстат або спеціальне пристосування, оснащені вібронаплавлювальним пристосуванням, пристроєм для його переміщення і системою трубопроводів для підведення рідини, що охолоджує, для охолодження і загартування наплавленого шару металу.

Як джерела струму використовують низьковольтні генератори НД 1500/750, НД 1000/500, випрямлячі ВСГ-3А. У ремонтному виробництві при автоматичному вібродуговому напавленні використовують наступне наплавлювальні голівки: — УАНЖ- 5, УАНЖ- 6, КМ- 5, ВК- 2, ВГ- 3, КУМА-5М, ГМВК- 2 — для наплавлення циліндричних поверхонь деталей $d = 15—400$ мм.

Режими наплавлення. Автоматичне вібродугове наплавлення ведеться головним чином на постійному струмі, оскільки змінний струм не забезпечує стабільності процесу. Швидкість подачі електродного дроту діаметром 1,6—2,5 мм при напрузі в ланцюзі до 15 В приймають 30—45 м/ч, а при напрузі понад 15 В — 45—100 м/ч. Частота обертання шпинделя при напавленні складає 0,5—20 об/хв.

Крок наплавлення при напрузі в ланцюзі 12—15 В, встановлюється рівним 1,2—1,5 мм, а при напрузі 15—20 В — від 1,5 до 2,0 мм.

3.3.7. Індукційне наплавлення

Індукційне (високочастотне) наплавлення (рис. 3.10) відрізняється тим, що для розплавлення матеріалу (шихти) використовують струми високої частоти, що пропускаються по провідникові-індуктору, що охоплює деталь, що

нагрівається. При цьому на її поверхні збуджується індукований (вихровий) струм, що нагріває її і що викликає розплавлення шихти, у якої температура плавлення нижча, ніж у сталі.

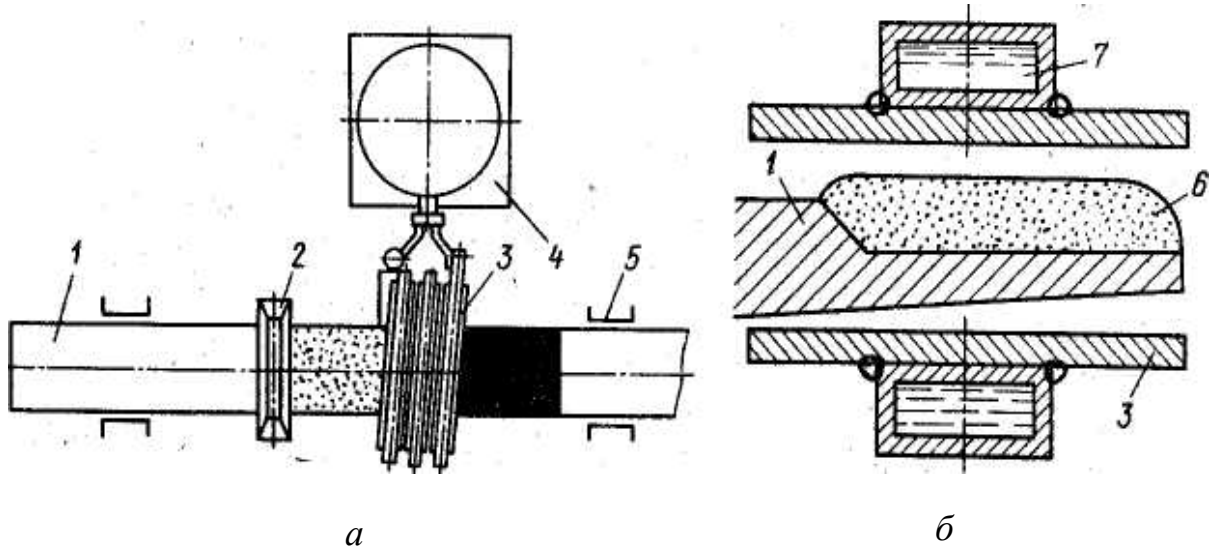


Рис. 3.10. Схеми індукційного (високочастотного) наплавлення: *а* — циліндричних; *б* — плоских деталей; 1 — деталь, що наплавляється; 2 — дозатор; 3 — індуктор; 4 — трансформатор; 5 — направляючі; 6 — шар шихти (присадного матеріалу); 7 — вода для охолодження індуктора

Індукційне наплавлення виробляється за допомогою індуктора, приєднаного до машинних, лампових або високочастотних транзисторних генераторів (ВЧ-А18, ВЧ-А200 та ін.).

Його використовують для відновлення як циліндричних, так і плоских поверхонь. Зокрема, цим методом наплавляють нові жолоби (рештаки) скребкових конвеєрів вугільних шахт, а також ремонтують їх.

3.3.8. Плазмове наплавлення

Залежно від способу подачі і типу присадного матеріалу розрізняють декілька різновидів плазмового наплавлення, напилення, металізації (рис. 3.11).

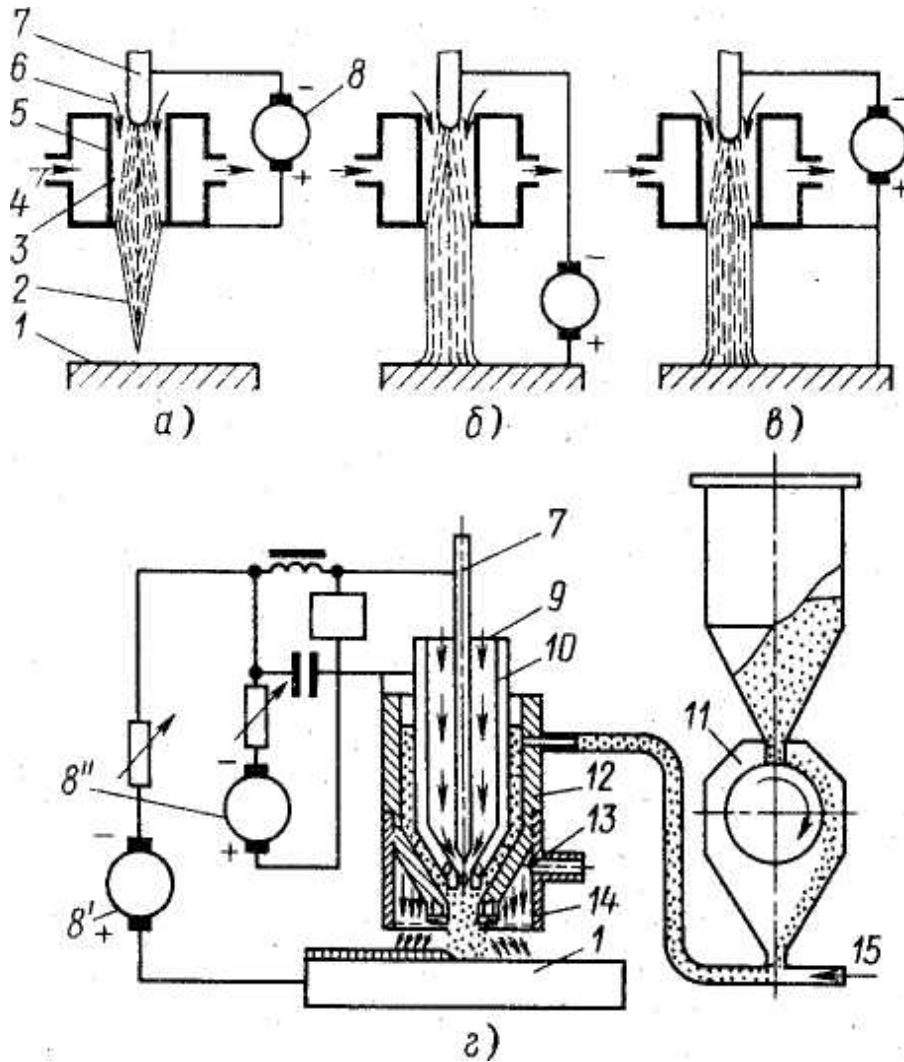


Рис. 3.11. Різні види плазмового наплавлення:

a — закрита дуга (для поверхневого загартування, металізації і напилення); *б* — відкрита (для різання металів); *в* — комбінована; *г* — з вдуванням порошку в дугу; 1 — деталь; 2 — плазмовий струмінь; 3 — сопло; 4 — вода для охолодження; 5 — канал; 6 — плазмоутворюючий газ; 7 — неплавкий вольфрамовий електрод; 8 — джерело струму (8' — для відкритої дуги, 8'' — для закритої дуги); 9 — канал для плазмоутворюючого газу; 10 — внутрішнє сопло; 11 — живильник для подачі порошку; 12 — назовнішнє сопло; 13 — канал для захисного газу; 14 — захисне сопло; 15 — канал для транспортування газу

Для отримання дугової плазми використовують Ar, He, N₂, атмосферне повітря, водяну пару і різні суміші цих газів.

Плазмове наплавлення застосовується для нанесення шару металу товщиною 0,5 мм. Присадний матеріал у вигляді дроту, стрічки, спресованих металокерамічних кілець і пластинок, пасти, а також порошку подається в плазмову дугу або в плазмовий струмінь. При плазмовопорошковому наплавленні порошок вдувають через спеціальні канали в пальнику в дугу.

3.3.9. Електроконтактне наплавлення

Переваги електроконтактного наплавлення:

1. Висока продуктивність і низька енергоємність процесу нарощування шару металу в твердій фазі.
2. Мінімальна зона термічного впливу струму на метал внаслідок надзвичайно малої (до тисячних часток секунди) тривалості імпульсів, що формуються сучасними переривниками струму.
3. Немає необхідності в захисному середовищі зважаючи на короткочасну термічну дію на присадний метал.
4. Відсутність потужного світлового випромінювання і газовиділення.

Способи електроконтактного наплавлення. Мета способу ЕКН полягає в нагріві присадного матеріалу і приконтактного об'єму металу відновлюваної деталі імпульсами електричного струму і їх спільної пластичної деформації, який забезпечує утворення фізичного контакту, активацію контактних поверхонь і об'ємну взаємодію покриття і матеріалу основи. Як присадка при ЕКН застосовуються як порошкові матеріали, так і компактні матеріали (суцільні металеві стрічки і дроти, порошкові стрічки і дроти). У разі використання як присадки порошкових матеріалів процес називається припикання (ЕКП) електроконтакта. Припикання — технологічний процес, що полягає в нанесенні на поверхню відновлюваної деталі порошкового формування або шару порошку з метою отримання двошарового матеріалу шляхом нагріву до

температури, що забезпечує спікання порошкового матеріалу і утворення міцного дифузійного зв'язку з деталлю.

Наварювання сталевих стрічки. Металева стрічка використовується для відновлення деталей типу тіл обертання (вали, осі, ролики). Для цього використовують відпалену сталеву стрічку (СС). В цьому випадку теплота виділяється в основному на перехідному опорі стрічка — деталь. Наплавлений шар (визначення "наплавлений шар" в принципі некоректно) формується в результаті з'єднання СС з поверхнею деталі. Його товщина практично дорівнює товщині СС. Стрічки майже усіх марок стали при наварюванні значно зміцнюються (спостерігали навіть зміцнення шару, наплавленого стрічкою стали 08). Отримувана твердість пропорційна вмісту вуглецю в сталі.

Наплавлення зварювальним дротом. Електроконтактне наплавлення здійснюють на спеціальній установці (рис. 3.12).

Електроконтактне наплавлення виконують спільною деформацією металу, що наплавляється, і поверхневого шару металу основи, нагрітих у вогнищі деформації до пластичного стану короткими (0,02—0,04 с) імпульсами струму 10—20 кА.

В результаті кожного з послідовних електромеханічних циклів процесу на поверхні металу основи утворюється одиничний майданчик наплавленого металу, що перекриває сусідні.

Деформація металу, що наплавляється, за цикл складає 40—60 %. Наявність пластичної деформації присадного матеріалу дає можливість підвищити

міцність зчеплення покриття з основою.

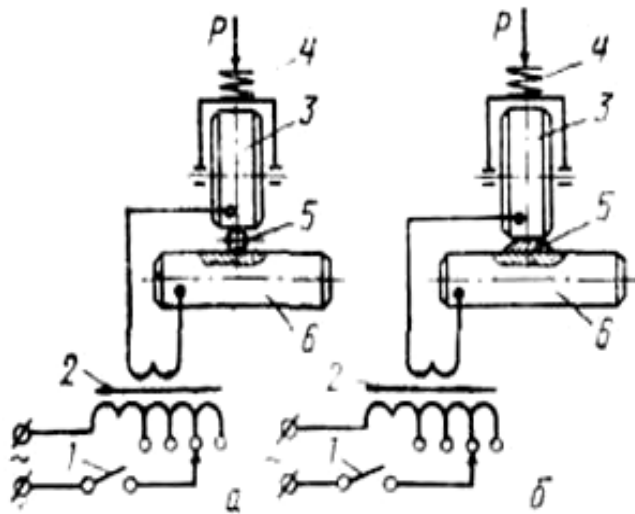


Рис. 3.12. Схема установки електроконтактного наплавлення: *а* — початковий стан; *б* — кінцевий стан; 1 — переривник струму; 2 — трансформатор; 3 — наплавляючий ролик; 4 — амортизатор; 5 — присадковий дріт; 6 — зразок

Електроконтактне наплавлення застосовують для ремонту металевих поверхонь і отримання біметалічних виробів.

Основна технологічна схема наплавлення наступна. Суцільний шар металу утворюється за цією схемою шляхом наплавлення спіралівидних валиків металу (рис. 3.13), що перекрива-

ються по ширині.

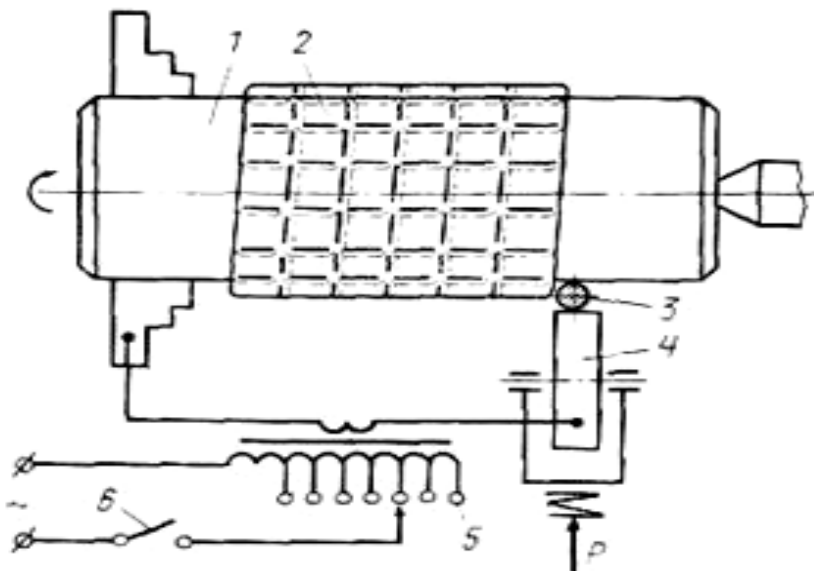


Рис. 3.13. Основна технологічна схема електроконтактного наплавлення 1 — деталь, що наплавляється, 2 — наплавлений метал; 3 — присадний дріт, 4 — наплавляючий ролик; 5 — трансформатор, 6 — переривник струму

Наплавлення виконується одним наплавляючим роликом. Присадний дріт додається в зону наплавлення і фіксується за допомогою направляючої втулки, жорстко закріпленої відносно ролика. Положення кожного витка спіралівидного валика перекриття, що забезпечує його контакт з сусіднім, визначається тільки швидкістю переміщення ролика відносно деталі.

При наплавленні чергового витка присадна проволочка внаслідок деформації контактує з раніше наплавленим валиком. Присадний дріт і ділянка металу попереднього витка нагріваються струмом наплавлення і спільно деформуються, внаслідок чого відбувається їх з'єднання.

Основна технологічна схема наплавлення проста, надійна і може вважатися оптимальною для великої групи виробів. Недоліком схеми є підвищений місцевий знос ролика, при його зачистці після наплавлення чергової ділянки видаляється частина поверхні ролика, що не брала участь в роботі, тому прийнятніше послідовне використання усієї контактної поверхні ролика. Недоліки цієї схеми не є визначальними.

3.3.10. Металізація напыленням

Металізацію застосовують для нанесення покриттів на деталі різної конфігурації при відновленні зношених поверхонь і виправленні ливарних дефектів, для підвищення жаростійкості, теплопровідності і електропровідності, при нанесенні захисних декоративних покриттів.

Суть процесу полягає в тому, що розплавлений метал під дією струменя інертного газу або повітря розпилюється на частки розміром від 3 до 300 мкм і зі швидкістю 100—300 м/с наноситися на підготовлену поверхню. З'єднання металу, що наноситися, з основним відбувається за рахунок механічних і частково молекулярних зв'язків, а також внаслідок усадки покриттів при охолодженні. Покриття є пористим, крихким шаром металу порівняно високій твердості і низькою механічною міцністю. Шар добре просочується мастилом і при невеликих питомих навантаженнях має досить високу зносостійкість, а при великих пито-

мих навантаженнях він руйнується. У процесі металізації деталь нагрівається до температури 130—220 °С, що не викликає структурних змін в металі. Це є головною особливістю цього способу.

Товщина покриття залежно від призначення може бути від 0,20—0,30 мм до 8—10 мм. Металізацію в основному застосовують для деталей, що працюють на знос і не несуть ударних навантажень. Залежно від способу плавлення металу металізація може бути газовою, електричною, високочастотною і плазменною. У ремонтному виробництві найбільшого поширення при відновленні набув спосіб електрометалізації.

Присадний матеріал. Як присадний матеріал при металізації застосовують електродний дріт $d = 1 \div 2$ мм. Цинковий і маловуглецевий дріт застосовується для закладення тріщин в блоках двигунів внутрішнього згорання, корпусах редукторів. Високовуглецевий і легований дріт застосовують для відновлення поверхонь деталей, що працюють на знос. За рахунок швидкого охолодження стислим повітрям твердість напиленого шару вище за твердість матеріалу напиляемого дроту на 20—40 НВ і доходить до 260—400 НВ.

Устаткування для металізації. Циліндричні деталі піддають металізації на токарних верстатах, а плоскі на спеціальних установках за допомогою металізаторів типу ЛК-6А, ЗМ-3А, ЕМ-6, УМА-1.

Схема пістолету для металізації наведено на рис. 3.14.

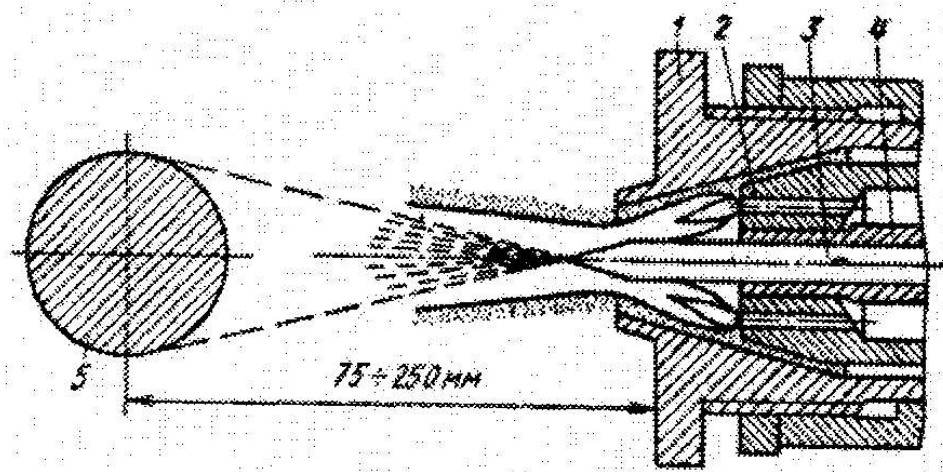


Рис. 3.14. Схема пістолета металізатора:

1 — корпус; 2 — отвір для газу; 3 — електрод; 4 — електродопровід

Технологічний процес відновлення металізацією включає:

1. Підготовка поверхні деталі до металізації: очищення і миття деталі в лужному розчині; попередня механічна обробка для усунення геометричних погіршень форми деталі; механічна обробка з метою створення шорсткої поверхні (обробка дробом, обдування кварцевим піском, нарізка трикутного різьблення, електроіскрова обробка деталі); нанесення металу; обробка поверхні деталі після металізації.

Режим нанесення металу. Параметри режимів електрометалізації: тиск повітря, що розпилює розплавлений метал — $0,55 \div 0,6$ МПа; відстань від вогнища плавлення до поверхні, що металізується — $75 \div 100$ мм; напруга дуги — $60 \div 80$ В; величина струму дорівнює $60 \div 80$ А; швидкість металізації — $5 \div 15$ м/хв; швидкість подачі металізатора — $1,5 \div 5$ м/хв.

Вищі значення швидкості металізації застосовуються для цинкового або маловуглецевого дроту, низькі значення — для високовуглецевого дроту. Обробка поверхні деталі після металізації включає: витримку при $t = 150 \div 1700$ в мастилі МК-22 протягом $1,5 \div 2$ годин; попередня механічна обробка.

Токарна обробка ведеться по режиму: різець Т15К6; $\varphi = 450$; $\varphi_1 = 100$; $v = 10 \div 15$ м/хв; $S = 0,2 \div 0,5$ мм/об; t_p до 1 мм. Припуск на обробку залишають в межах $1 \div 1,5$ мм на сторону;

- остаточна механічна обробка — шліфування. Шліфування ведуть по звичайних режимах, прийнятих для сталевих деталей з використанням шліфувальних кругів типу СМ, М;

- термічна обробка (поліпшення) — застосовується для деталей, які підлягають металізації високолегованим дротом.

Контрольні запитання

1. Особливості технології наплавлення і властивостей металу.
2. Вибір основних і присадних матеріалів, технологічних параметрів наплавлення та обладнання.
3. Технології наплавлення і зварювання сталей.
4. Автоматичне наплавлення під флюсом.
5. Наплавлення відкритою дугою і в захисних газах.
6. Матеріали для електродугового наплавлення.
7. Автоматичне вібродугове наплавлення.
8. Електроконтактне наплавлення.
9. Індукційне наплавлення.
10. Плазмове наплавлення.
11. Металізація напиленням.
12. Металізація нарощуванням.

Розділ 4

УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ НАПЛАВЛЕННЯ І ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

4.1. Устаткування для зварювання і наплавлення загального призначення

Ручне наплавлення, як правило, виконується у стаціонарних умовах. До комплекту устаткування поста входять: джерело живлення, стіл або маніпулятор виробу, електродотримач, зварювальні дроти, захисні пристрої, допоміжний інструмент (зубило, молоток, сталеві щітки). Робоче місце наплавника обладнується місцевою і загальнообмінною припливно-відсмоктуючою вентиляцією.

Характерні наступні види складально-зварювального устаткування:

1. Складальні кондуктори, які мають жорстку основу у вигляді рами або плити, на якій розміщені установчі та притискні елементи.
2. Складальні стенди, у яких є нерухома основа з установчими та притискними елементами і додаткові пересувні пристрої.
3. Універсально-складальні пристрої (УСП), які мають основу у вигляді плити з Т-подібними пазами для розміщення та закріплення набору установчих та притискних елементів у відповідності з конфігурацією виробу, що складається.
4. Переносні пристрої (стяжки, струбцини, розпорки), які застосовуються, головним чином, при монтажі габаритних виробів.

Для наплавлення характерні наступні види засобів механізації і технологічного устаткування:

1. Стенди, обладнання для обпалювання, очищення, машини для миття і кондуктори, які використовуються при очищенні, митті і дефектовці виробів при відновленні і наплавленні.
2. Обертачі, кантувачі і маніпулятори.

3. Механічні станки для обробки деталей перед — і після наплавлення, або термічної обробки.
4. Індуктори для попереднього і супутнього підігріву.
5. Електричні або газові печі для попереднього підігріву і термічної обробки наплавлених виробів.
6. Автомати і напіваавтомати для наплавлення виробів.
7. Розточно-наплавлювальні комплекси.
8. Апарати, прилади і інструменти для оптико-візуального та ультразвукового або іншого контролю.

4.2. Автомати і технологічні комплекси для зварювання і наплавлення

4.2.1. Автомати для зварювання і наплавлення під флюсом

Автоматичним, прийнято називати устаткування для наплавлення або зварювання з механізованим збудженням і підтриманням дугового процесу, механізованою подачею зварювальних матеріалів в зону плавлення та механізованим переміщенням дуги вздовж лінії зварного з'єднання або наплавляємих виробів. Апарат, який виконує зазначені функції, називається автоматом.

Поширене використання одержало автоматичне наплавлення різних деталей машин, металургійного та іншого устаткування. Автоматичне наплавлення застосовують під час виготовлення нових і для відновленого ремонту зношених виробів.

А Автомати для дугового зварювання плавким електродом здійснюють в процесі роботи декілька функцій: запалення дуги, подачу електродного дроту, флюсу або захисного газу в зону дуги, підтримку заданого режиму зварювання, переміщення зварювального апарату і припинення процесу зварювання. Автомати повинні швидко і точно реагувати на різні дії: коливання напруги

мережі, зміна швидкості подачі електродного дроту і тому подібне. Загальний вигляд автомата показаний на рис. 4.1.

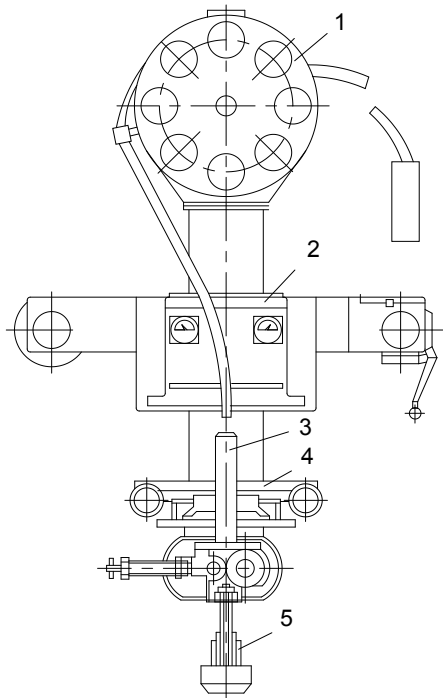


Рис. 4.1. Зварювальний автомат для дугового зварювання А-874 С: 1 — касета з електродним дротом; 2 — пульт управління; 3 — механізм правки електродного дроту; 4 — що коригує пристрій; 5 — мундштук ступінчастим.

Автомати для дугового зварювання можна класифікувати за наступними ознаками:

1. По конструкції — підвісні головки; самохідні зварювальні головки; зварювальні трактори.

2. За призначенням — для зварювання під флюсом; в захисних газах і порошковим дротом (універсальні).

3. За родом застосовуваного струму — для зварювання постійним струмом (прямий і зворотній полярності); для зварювання змінним струмом (одно- і багатофазним).

4. За способом регулювання швидкості — з плавним регулюванням; із ступінчастим регулюванням; з плавно-

ступінчастим. 5. За способом охолодження струмопровідної частини зварювальної головки і сопла — з природним охолодженням; з примусовим охолодженням (водяним або газовим).

6. За способом подачі електродного дроту — зі швидкістю подачі, що залежить від напруги на дузі; зі швидкістю подачі, незалежної від напруги на дузі.

7. За розташуванням автомата щодо зварюваного шва — для зварювання усередині колії; для зварювання всередині і поза колії.

Крім того, зварювальні автомати можна розділити на наступні групи: одно-, двох- та багатоелектродні; одно-, двох, і багатодугові.

Основним елементом зварювального автомата є зварювальна головка, що здійснює подачу електродного дроту і підтримку заданого режиму зварювання. Для отримання зварного шва зварювальній головці необхідно задати переміщення із зварювальною швидкістю. Для цієї мети служить механізм переміщення автомата з пультом управління. Для гарантованого проходження електродного дроту з касети в зону зварювання необхідно виключити її заїдання в механізмі подачі. Це досягається шляхом застосування механізму правки дроту безпосередньо перед проходженням подаючих роликів. Для точнішого розміщення електроду відносно стику і для коригування цього положення в процесі зварювання в автоматі передбачений механізм поперечної корекції положення електроду. Підведення зварювального струму до електродного дроту здійснюється в мундштуку при невеликому вильоті дроту.

4.3. Розточно-наплавлювальні комплекси

Розточно-наплавлювальні комплекси WS3, WS2, 411, 611 і інші дозволяють проводити розточування і наплавлення отворів від 22 до 1700 мм. Ці верстати для розточування і наплавлення дозволяють виробляти наступні роботи:

- відновлення отворів — розточування отворів і наплавлення (отвори на стрілах екскаваторів), на ковшах фронтальних навантажувачах і екскаваторах, шарнірні зчленування на бульдозерах, будь-які отвори під пальці та інші, у тому числі глухі;
- одночасне співісне розточування декількох рознесених один від одного отворів на відстані до 2,5 метрів;
- відновлення посадочних місць під підшипники;
- торцювання бобишек і приливів;
- проточка канавок під розтискні стопорні кільця;
- свердління, нарізка різьблення;
- ремонт посадочних місць підшипників редукторів, цапф і ін.;

- відновлення ліжок колінчастих і розподільних валів;
- ремонт блоків циліндрів двигунів.

Розточувально-наплавлювальний комплекс з успіхом може бути застосований для ремонту:

- будівельної, землерийної, сільськогосподарської і комунальної техніки;
- ремонту підйомно-транспортних механізмів і пристроїв (висотні крани, порталні і козлові крани, тельфери і так далі);
- залізничного транспорту і устаткування метрополітенів;
- в суднобудуванні, а також при ремонті судноремонтної і портової техніки;
- кар'єрного, гірничодобувного і гірничо-збагачувального устаткування;
- техніки, використовуваної нафтогазовидобувними підприємствами;
- аеродромної техніки;
- прокатних станів і конвеєрів на підприємствах важкої і металургійної промисловості;
- ремонту гідротехнічних споруд (шлюзів, розлучних мостів та ін.).

Ці комплекси за рахунок малих габаритів і ваги, а також оригінальної системи кріплення на дефектному вузлі дозволяють виконувати роботи на будь-якій висоті, під будь-яким кутом і в будь-якій площині.

4.4. Технологія розточування і наплавлення

Технологія передбачає розбирання тільки дефектного вузла, для забезпечення доступу до відновлюємого отвору. Наступним етапом є закріплення зварюванням центрального комплекту.

Центрувальний комплект, залежно від типу ремонтуваної деталі, встановлюється або по двох сторонах отвору, або при розточуванні декількох рознесених друг від друга отворів, по торцях цих отворів.

Завдяки своїй конструкції центрувальний комплект дозволяє міняти положення борштанги, відновляємій поверхні, що проходить по усій довжині. Центрування борштанги здійснюється за допомогою вимірювального інструменту по найменш зношеному отвору або по інших бічних поверхнях. Далі на вже відцентровану борштангу надіваються супорти і після регулювання положення і довжини лапок під опорну поверхню фіксується зварюванням, після чого центрувальний комплект віддаляється. Агрегат жорстко закріплюється на одному з супортів і своєю вагою не чинить ніякого впливу на точність виконання технологічних операцій. Після установки різця в борштанге здійснюється розточування отвору до усунення еліпсності або до необхідного діаметру.

Для наплавлення борштанга замінюється наплавлювальним валом, який приєднується до зварювального напівавтомата спеціальним перехідним кабелем. Використовувана газова суміш складається з 80 % аргону і 20 % вуглекислого газу. До зварювального напівавтомата суміш подається або безпосередньо готова через редуктор, або через змішувач від двох балонів, що містять окремо аргон і вуглекислий газ.

Наплавлення необхідної кількості шарів металу здійснюється в автоматичному режимі зварювальним напівавтоматом, а установка забезпечує обертання і подовжнє переміщення наплавлювальної головки. Твердість отриманого шару складає 20—35 HRC, залежно від сили струму і складу газової суміші.

Після закінчення процесу наплавлення встановлюється борштанга і здійснюється чорнове розточування отвору. Після чорнкової проточки вимірювальним інструментом визначається поточний діаметр отвору і за допомогою цифрового індикатора різець налаштовується на номінальний діаметр. Потім виконується контрольний вимір діаметру отвору, демонтаж агрегату і зачистка поверхні деталі від слідів зварювання.

До числа тих, що найчастіше піддають зносу вузлів відносяться:

- отвори в рукоятях і стрілах екскаваторів;

- отвори в проушинах ковшів екскаваторів і навантажувачів;
- з'єднання стріли екскаватора з поворотною платформою;
- кріплення гідроциліндрів;
- отвори на ходовій рамі кранів;
- з'єднання колони і стріли кранів;
- посадка під центральну цапфу кар'єрних екскаваторів;
- посадочні місця під обійми підшипників і багато інших.

4.5. Уніфіковані установки для наплавлення

Широке використання для електродугового наплавлення вузлів і деталей машин і механізмів знаходять уніфіковані і спеціалізовані установки серії УН-УЕДН (УН-5, УН-5-5, УН-12, УЕДН-5, УЕДН-5-4, УЕДН-5-6), типу КАС РМ-165, УН-2Г, РМ-04, КЖ.9705.1 і ін.

При комплектації установки столом для наплавлення можна також наплавляти плоскі деталі масою до 2 т, довжиною 2 м і шириною 1 м.

Установка УН-5 дозволяє отримувати стабільно високу якість і продуктивність праці при наплавленні.

До складу установки входять маніпулятор М11070А, автомат А-231, візок, рухлива стійка з задньою бабкою і висувною пінолю з підпружиненим самовстановлювальним центром, а також індуктор для попереднього підігріву деталей.

Установка УН-5 призначена для наплавлення широкої номенклатури тіл обертання і дозволяє виконувати автоматичне наплавлення суцільнотягнутими, порошковими і самозахисними дротами та різного типу стрічками під флюсом і в захисних газах.

Типи установок для наплавлення і їх технічні характеристики наведено у додатках.

Контрольні запитання

1. Автомати для зварювання і наплавлення.
2. Устаткування для наплавлення загального призначення.
3. Автомати для зварювання і наплавлення.
4. Розточно-наплавлювальні комплекси.
5. Технологія розточування і наплавлення.
6. Уніфіковані установки для наплавлення.

Розділ 5

ГАЗОТЕРМІЧНЕ НАПИЛЕННЯ

5.1 Терміни та основні положення

Газотермічне напилення — це одержання покриття з використанням високо-температурного газового струменю та нагрітих ним і прискорених часток напилюваного матеріалу, при зіткненні яких з основою або напиленим матеріалом виникає їх з'єднання за рахунок зварювання, адгезії та механічного зчеплення.

При газотермічному напиленні на поверхню матеріалу переносяться частки диспергованого матеріалу у рідинному або пластичному стані розміром 10—150 мкм. Сутність процесів полягає у тому, що при високих температурах проходять процеси плавлення, змочування, адгезії, зчеплення, спікання, які перетворюють механічний конгломерат у міцну суцільну масу. При використанні компактного матеріалу, наприклад, дроту, це роздрібнення на частки і розпилення відбувається у процесі його плавлення і газотермічного напилення.

Газотермічні процеси напилення можна класифікувати за енергетичними ознаками або функціональним призначенням.

Газотермічне напилення (ГТН) за енергетичними ознаками можна класифікувати за такими видами:

- газополум'єневе напилення (ГН) — газотермічне напилення, при якому для напилення використовується струмінь продуктів горіння суміші газів, які спалюються за допомогою пальника;
- детонаційне напилення (ДН) — газотермічне напилення, при якому для напилення використовується струмінь продуктів детонації;
- електродугове напилення (ЕДН) — газотермічне напилення, при якому нагрівання металу у вигляді дроту, стрижня або стрічки спричиняється

електричною дугою, а диспергування — струменем стиснутого газу (повітря);

- плазмове напилення (ПН) — газотермічне напилення, при якому для напилення використовується плазмовий струмінь.

Плазмове напилення може бути плазмово-дуговим (ПпЛН), при якому плазмовий струмінь утворюється за допомогою електричної дуги, та високочастотним (ВПЛН), при якому плазмовий струмінь утворюється за допомогою високочастотного розряду.

- "холодне" газодинамічне напилення (ХГН) — напилення, при якому для утворення покриття використовується кінетична енергія високошвидкісного (надзвукового) газового струменю, розігрітого до температури, значно меншої, ніж температура плавлення матеріалу, що напилюється.

- *лазерне напилення (ЛН)* — напилення, в якому для утворення покриття використовується лазерний промінь, який дозволяє точно контролювати теплове випромінювання носія енергії. Співосно з променем подається захисний газ (аргон, гелій, їх суміші або азот) з витратами 1,2—3 м³/год. Порошок подається у зону фокуса лазерного променя. Найпоширенішими є газолазерні установки (СО₂-лазери).

Газотермічне напилення, при якому у об'ємі робочої камери підтримується заданий склад та тиск газового середовища, називається *напиленням у контрольованій атмосфері*.

Газотермічне напилення у контрольованій атмосфері, при якому безперервно підтримується завдане розрідження газового середовища, називається *напиленням у динамічному вакуумі*. Покриття, одержане газотермічним напиленням, називається газотермічним покриттям.

Залежно від виду використаної для напилення енергії розрізняють *газополуменеве, електродугове та детонаційне, плазмове або плазмово-дугове покриття*.

Крім перелічених процесів, останнім часом застосовуються так звані гібридні процеси, при яких для нагрівання матеріалу, що напилюється, вико-

ристовуюють декілька джерел. Наприклад, детонація та плазма, лазерний промінь та плазма і тому подібне.

Також поширюються процеси з використанням надзвукових струменів: плазмового та струменю продуктів горіння при газополуменевому напиленні.

Залежно від функціонального призначення газотермічне покриття класифікується таким чином:

1. Ущільнююче газотермічне покриття, яке забезпечує необхідну стабільність зазорів у виробі або конструкції при їх експлуатації.
2. Термостійке газотермічне покриття, яке має необхідну працездатність при багаторазових різких змінах температури.
3. Коркове покриття, сформоване на основі для придбання її форми та зняте з основи для використання із самостійною метою.
4. Терморегуляційне покриття забезпечує регулювання поглинання та випромінювання поверхнею теплових потоків.

Терморегуляційне газотермічне покриття, яке знижує дію теплових потоків на поверхню, називається *теплозахисним газотермічним покриттям* (теплозахисним покриттям).

5. Захисне газотермічне покриття захищає поверхню від зовнішньої дії.

Захисні газотермічні покриття можуть розподілятися на такі:

- 5.1. Ерозійностійке покриття — знижує вплив високошвидкісних струменів на поверхню.
- 5.2. Корозійностійке покриття — збільшує опір поверхні корозійному руйнуванню.

Корозійностійке газотермічне покриття, яке збільшує опір поверхні від руйнування при високих температурах, називається жаростійким покриттям.

- 5.3. Зносостійке покриття — збільшує опір поверхні різним видам спрацьовування.

Зносостійкі покриття, в свою чергу, поділяються на:

5.3.1. Антифрикційне покриття знижує коефіцієнт тертя у робочій парі тертя.

5.3.2. Фрикційне покриття — збільшує коефіцієнт тертя.

5.3.3. Антиадгезійне покриття — знижує схильність контактуючих поверхонь до адгезійної взаємодії або зчеплення.

6. Функціональні покриття зі специфічними вимогами — біосумісні, радіаційні, композиційні (з наперед заданим складом за формою, вмістом компонентів) з регульованою структурою (пористі, шарові, мікрокристалічні, аморфні, нанотекстуровані) та ін.

Газотермічне покриття з двох або більше послідовно одержаних шарів, відмінних за складом, називається багатошаровим газотермічним покриттям.

Багатошарове газотермічне покриття, в якому кожний проміжний шар має декілька компонентів з градієнтом, спрямованим від основи до зовнішнього шару, називається градієнтним покриттям.

Частина газотермічного покриття, яка безпосередньо прилягає до основи та виконує функції зв'язку поміж основною частиною покриття та основою, називається підшаром або прошарком газотермічного покриття.

Частина газотермічного покриття, яка розташована над прошарком та виконує робочу функцію покриття, називається основною частиною газотермічного покриття.

Відрізняють також зовнішній шар газотермічного покриття, поверхня якого контактує з зовнішнім середовищем, та проміжні шари газотермічного покриття, розташовані між основою або прошарком та зовнішнім шаром.

5.2. Переваги і недоліки технології напилення

5.2.1. Переваги технології напилення

1. Можливість нанесення покриттів на вироби, виготовлені практично з будь-якого матеріалу. Напиленням можна наносити покриття на вироби, виготовлені не лише з металу, але і зі скла, фаянсу і фарфору, органічних

(включаючи дерево, тканину, папір, картон) і багатьох інших матеріалів. Цієї переваги не має жоден з відомих способів поверхневої обробки, з яких одні придатні тільки для металів, а інші, хоча і мають багато цінних переваг, застосовні не для усіх матеріалів.

2. Можливість напилення різних матеріалів за допомогою одного і того ж устаткування.

3. Відсутність обмежень за розміром оброблюваних виробів. Покриття можна напилити як на велику площу, так і на обмежені ділянки великих виробів. При нанесенні ж металопокриття електролітичним осадженням, зануренням в розплав або дифузійним насиченням (азотуванням, цементациєю та ін.) можливості обробки виробу обмежені розмірами ванни або печі. Напилення приносить великі економічні вигоди у разі неприйнятності інших способів зміцнення, наприклад, коли необхідно нанести покриття на частину великого виробу.

4. Можливість застосування для збільшення розмірів деталі (відновлення і ремонт зношених деталей машин). Щоб уникнути вибраковування виробу, при механічній обробці якого зрізає зайвий метал, або при реставрації деталей з великим зносом, напилення, як і наплавлення, можна використовувати як спосіб відновлення розмірів деталей. Напиленням можна наносити шар завтовшки в декілька міліметрів, тоді як при електролітичному хромуванні, наприклад, здійснюваному з метою підвищення зносостійкості, товщина шару складає 6,300 мкм.

5. Відносна простота конструкції устаткування для напилення, його мала маса, нескладність експлуатації устаткування для напилення, можливість швидко і легко переміщатися. У комплекті устаткування для газополум'яного напилення досить мати компресор, який можна також використовувати для попередньої піскоструминної обробки поверхні виробу, пальник для напилення і газові балони. Якщо ж є джерело електроенергії, то напилення можна проводити електричними методами.

6. Можливість широкого вибору матеріалів для напилення. Для напилення можна використовувати різні метали, сплави, з'єднання металів з оксидами, пластмаси, різні хімічні сполуки і їх суміші. Можливо також нанесення багатошарових покриттів різнорідними матеріалами, що забезпечує отримання покриттів із спеціальними властивостями.

7. Невелика деформація виробів під впливом напилення. Багато способів поверхневої обробки виробу вимагають нагріву до високої температури усього виробу або значної його частини, що часто стає причиною його деформації.

8. Можливість використання напилення для виготовлення деталей машин різної форми. Напилення виробляють на поверхню форми-оправляння, яку після закінчення процесу видаляють, залишається оболонка з напиленого матеріалу.

9. Простота технологічних операцій напилення, відносно невелика трудомісткість, висока продуктивність нанесення покриття.

10. Не потрібно спеціальну дорогу обробку (очищення) продуктів, що забруднюють довкілля, на відміну від засобів очищення і нейтралізації при гальванічних видах обробки виробів.

5.2.2. Недоліки технології напилення

1. Мала ефективність нанесення покриттів на дрібні деталі із-за низького коефіцієнта використання напилюваного матеріалу (відношення маси покриття до загальної маси витраченого матеріалу). У таких випадках поверхневу обробку дрібних деталей доцільно здійснювати гальванічним, хімічним, фізичним і іншими способами (наприклад, дифузійним насиченням, електролітичним" з розплавів металів і ін.).

2. Шкідливих умови роботи операторів під час попередньої обробки поверхні виробів. Для попередньої підготовки поверхні перед напиленням використовують піскоструминну або дробеструйну обробку за допомогою кварцевого піску, корунду, сталевого або чавунного дробу. Ця операція супро-

воджується забрудненням робочої ділянки і погіршує умови роботи оператора, обслуговуючого установку.

3. Виділення диму і аерозолів під час напилення. Процес напилення супроводжується утворенням хмари найдрібніших часток напилюваного матеріалу, взаємодія яких з наволишнім повітрям супроводжується утворенням різних з'єднань і диму. Шкідливість з'єднань і диму для здоров'я людей вимагає потужних витяжних пристроїв.

5.3. Структура газотермічного покриття

Традиційно застосовується кілька типів структури газотермічних покриттів. Досить поширеним є одношарове покриття. Його використання доцільне у випадку створення конструкції "покриття — основа" із матеріалів з близькими значеннями коефіцієнтів термічного розширення. Необхідною умовою є також забезпечення міцності зчеплення покриття з основою. Як правило, такі умови витримуються при нанесенні металевих покриттів на металеву основу.

Більш поширеними є покриття з підшарком. Підшарок має меншу, порівняно з основним шаром покриття, товщину, яка лежить у межах 0,025—0,1 мм. Призначення підшарку — в забезпеченні міцного зв'язку покриття в цілому з основою. Крім того, його часто використовують як перехідний шар між матеріалами основи й основного покриття для зменшення різниці між коефіцієнтами їх термічного розширення.

Найчастіше як підшарок використовуються нікель-алюмінієві матеріали у вигляді композиційних порошків або сплавів; при нанесенні оксидних покриттів для цього придатні також нікель-титанові сплави.

За рахунок сполучення властивостей матриці і наповнювачів можна отримати покриття із багатокомпонентною структурою. Покриття такого типу

можуть бути отримані при нанесенні механічних сумішей покриттів або композиційних порошків.

У випадку експлуатації покриття в умовах механічних ударних навантажень і теплозмін використовуються багатошарові та градієнтні структури, причому градієнтна структура може бути як шаруватою (утвореною кількома шарами із різним співвідношенням компонентів), так і безперервною (співвідношення компонентів по товщині покриття змінюється плавно, за рахунок їх окремого дозування в процесі напилення).

5.4. Газополуменеве напилення

Газополуменевий спосіб напилення покриття складається з формування на поверхні виробу шару з часток напилюваного матеріалу, які мають достатній запас теплової та кінетичної енергії внаслідок взаємодії зі струменем газового полум'я. Його рекомендують для напилення покриттів з дроту металів і сплавів, а також гнучких шнурів, прутків (рис. 5.1) та порошків металів, сплавів, композицій, оксидів тощо (рис. 5.2). Температура струменя продуктів спалення залежить від складу пальної суміші. Наприклад, температура струменя ацетиленокисневого полум'я становить 3200 °С пропан-бутанкисневого 2600—2700 °С. Швидкість часток напилюваного матеріалу залежить від співвідношення кисню та пального газу в суміші, кількості газу, який обдуває полум'я, відстані від зрізу сопла, кількості порошку, який вдувається у полум'я, його щільності, гранулометричного складу та ін., і знаходиться в межах 20—80 м/с.

При газополуменовому напиленні покриття в якості пального газу може використовуватись ацетилен та його замінники: пропан, водень, а також рідинні пальні. Окислювачем є кисень або повітря.

Удосконалення способу газополуменового напилення іде у напрямку підвищення швидкості струменя продуктів горіння.

ка, яка дозволяє формувати потрібну геометрію високотемпературного струменя та здійснювати ефективне нагрівання та прискорення часток порошку.

Знизити витрати тепла та кінетичної енергії утвореного струменя можна шляхом ізолювання його від навколишнього середовища периферійним супутнім струменем газу або охоплюючими струмись насадками. Це веде до збільшення швидкості часток матеріалу, що напильюється, на 10—20 м/с.

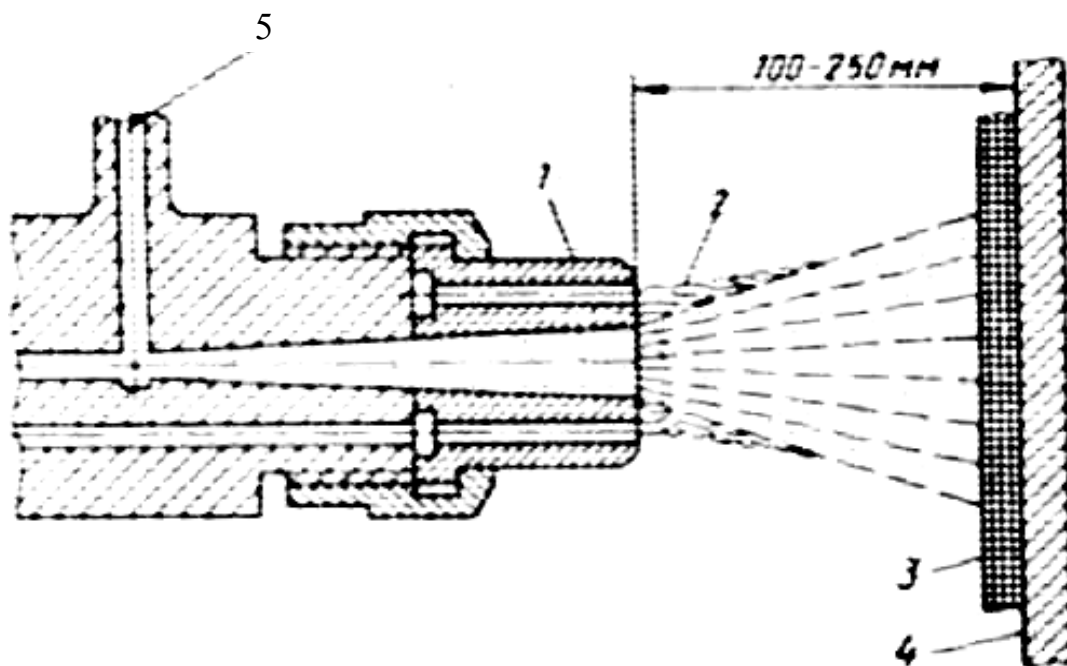


Рис. 5.2. Газополуменеве напильня порошкового матеріалу: 1 — сопло; 2 — факел полум'я; 3 — покриття; 4 — основа; 5 — порошок

Використання додаткових пристосувань з прискорюючими соплами, вісі яких розташовані під кутом до струменя продуктів горіння дозволяє збільшити швидкість до 120—130 м/с. Для додаткового нагрівання і прискорення часток порошку у струмені відповідно до вісі пальника розташовують кільцеподібну вставку із соплами для подавання пального газу.

Таким чином, нагріті та прискорені у низькошвидкісному газополуменевому струмені частки матеріалу, що напильюються за допомогою різних пристосувань, набувають підвищену швидкість перед поверхнею, на яку

напилюється матеріал, порівняно із звичайним напиленням газополуменевим пальником.

Новим шляхом розвитку газополуменевого напилення є створення установок для високошвидкісного напилення.

Спосіб отримання газополуменевого покриття з використанням струменю надзвукової швидкості у світовій практиці отримав назву (HVOF) Високошвидкісне киснево-паливне напилення”.

5.5. Детонаційне напилення

Процес детонаційного напилення покриттів (ДНП) полягає у формуванні на поверхні виробу серією послідовних пострілів шару з часток напилюваного порошку, які, внаслідок взаємодії з продуктами детонації вибухової суміші, мають достатній запас теплової та кінетичної енергії.

Цей процес рекомендується для напилення продуктів з порошків металів, і сплавів, оксидів, тугоплавких з'єднань, різних композицій і таке інше, які не повинні розкладатися та випаровуватись у продуктах детонації і повинні мати різницю між температурами плавлення та кипіння не менше 200 °С.

Суть процесу полягає в наступному. Ствол детонаційної гармати заповнюється сумішшю пального газ-кисень і відсікається від вибухової суміші, яка знаходиться у магістралях. Виважені транспортуючим газом частинки порошку подаються у ствол. За допомогою свічки запалення суміш запалюється, і спалення суміші проходить у режимі детонації. Залежно від складу вибухової суміші швидкість детонаційної хвилі може досягти 3000 м/с, а температура продуктів детонації — 3200 °С.

У результаті взаємодії з високотемпературними продуктами детонації частки порошку, який напилюється, нагріваються до пластичного або рідинного стану і, виходячи зі ствола, набувають швидкість 900—1500 м/с. При

зустрічі часток з напилюваною поверхнею на ній утворюється щільна пляма покриття. Потім цикл повторюється.

Дискретність процесу ДНП дозволяє систематизувати і згрупувати фактори, що є вирішальними на різних етапах напилення.

Можна виділити три основних етапи технології напилення детонаційних покриттів.

Перший етап — підготовчий. Він містить у собі операції по заповненню ствола вибуховою сумішшю и порошком матеріалу, що напилюється. Підготовчий етап завершується у момент ініціювання детонації газової суміші.

На другому етапі відбувається передача теплової кінетичної енергії продуктів детонації газової суміші часткам порошку матеріалу, що напилюється, при їх русі у стволі на ділянці між поверхнею, що напилюється і дуловим зрізом ствола.

Третій етап — формування детонаційного покриття на основі.

Визначальними факторами першого етапу є: склад детонаційної газової суміші, ступінь заповнення нею ствола, величина порції порошку, його гранулометричний склад, форма часток, місце знаходження і концентрація порошкової хмари в стволі у момент ініціювання детонації, відстань від зрізу ствола до основи.

Ця група факторів є технологічними параметрами процесу напилення. Не менш важливі на першому етапі конструктивні особливості і параметри самої установки: розміри і форма ствола, місце ініціювання вибуху суміші, спосіб транспортування та місце введення порошку у ствол, скорострільність установки.

Вирішальні фактори другого етапу — енергетичні характеристики продуктів детонації і часток порошку матеріалу, що напилюється. їх температури, швидкість, тиск і щільність газу, час перебування порошку матеріалу, що напилюється у високотемпературному потоці.

На третьому етапі ДНП ведучу роль здобувають фактори, від яких в остаточному підсумку залежить кількість зв'язків, що утворюються між взаємодіючими матеріалами у місці їхнього контакту на межі покриття і основи. Це, зокрема, такі характеристики як температура і тиск у зоні проходження фізико-хімічних процесів між контактуючими матеріалами, тривалість цих процесів.

Крім приведених факторів, велике значення на всіх етапах детонаційного напилення мають фізичні характеристики матеріалу покриття, а на третьому етапі — характеристики матеріалу основи.

Швидкість і температура часток покриття залежить від виду пального газу, співвідношення кисню та пального газу в суміші, кількості у суміші технологічного газу (азоту або повітря), їх витрат, кількості введенного у ствол порошку, його щільності та гранулометричного складу, конструкційних особливостей установки тощо.

До основних характеристик детонаційного нанесення покриттів можна віднести:

- можливість отримання покриття з малою пористістю (0,5—1,5 %) та високою (до 100 МПа) міцністю зчеплення покриття з основою із більшості порошків, які плавляться при температурі до 2800 °С без розкладання;
- нанесення покриття на різні матеріали; метали (з твердістю поверхні до 60 HRC), кераміку, скло, пластмаси та інші, при відсутності деформації напилюваної поверхні;
- можливість керувати хімічним складом продуктів детонації (відновлювальний, нейтральний, окислювальний) та енергетичними характеристиками процесу за рахунок регулювання складу газової суміші;
- наявність таких негативних явищ як високий рівень шуму в приміщенні, де відбувається детонаційне напилення покриттів, який досягає до 140 дБ; наявність продуктів спалення суміші пального газ-кисень з утворенням шкідливих компонентів (СО, вуглеводні сполуки, оксиди азоту тощо); наявність великої концентрації виважених у

повітрі часток напилюваного порошку.

До технологічних параметрів детонаційного наплення відносяться:

- витрати кисню, $\text{м}^3/\text{год.}$;
- витрати пального газу (ацетилену, пропану, водню) $\text{м}^3/\text{год.}$;
- витрати технологічного газу (азоту, повітря), $\text{м}^3/\text{год.}$;
- тиск газів, МПа;
- співвідношення між киснем та паливим газом у суміші, β ;
- час циклу процесу t , с або швидкострільність, Гц;
- витрати порошку, кг/год та його грануляція C , мкм;
- дистанція наплення, мм;
- швидкість відносного переміщення гармати та виробу, мм/хв або мм/об ;
- число обертів циліндричної деталі, об/хв .

Звичайні витрати кисню й ацетилену становлять від 0,2 до 6,0 $\text{м}^3/\text{год}$ залежно від конструкції установки. Тиск газів становить 0,05—0,15 МПа.

Найбільш вагомими параметрами є вид та витрати газів, які входять у детонуючу суміш, співвідношення між горючим газом і киснем. Теплова потужність детонаційних газових струменів становить 10^5 — 10^7 Вт.

Порівняно з іншими паливими газами найбільш високу ефективність дає використання для детонаційного наплення суміші ацетилену з киснем і меншу — пропан-бутану з киснем.

Втрати детонаційної суміші впливають прямо пропорційно на продуктивність процесу.

Детонаційне наплення належить до циклічних процесів. Час циклу становить 0,2—0,5 с і складається з 3-х складових:

$$T_{\text{ц}} = t_3 + t_{\text{в}} + t_{\text{п}},$$

де t_3 — час, необхідний для заповнення камери та стволу газовою сумішшю; $t_{\text{в}}$ — час, необхідний для створення вибуху та викиду продуктів детонації та порошку; $t_{\text{п}}$ — час продувки камери та ствола.

Потрібно прагнути до мінімальних значень $T_{ц}$, бо ним визначається кількість циклів установки у часі, отже, і продуктивність.

Протягом одного циклу на поверхню напилення переноситься від 0,02 до 0,15 грамів розпилюваного матеріалу.

Частіше за все для детонацій напилення використовують порошки діаметром 10—50 мкм. Порошки з більш крупними частками підігріваються і прискорюються недостатньо для утворення міцних зв'язків у мить удару. Порошки малої щільності мають найбільш високі швидкості. Витрати порошку при напиленні знаходяться у великих межах.

Залежно від потужності установок продуктивність порошку, що напилюється, знаходиться у межах 0,5—4,0 кг/год. При завантаженості порошком детонаційної суміші 0,2—0,6 кг/м³ за один цикл вистрілюється 100—300 мг.

Температура та швидкість часток значною мірою залежить від умов їх введення у ствол гармати. Найбільш високі швидкості часток отримуються при введенні порошку на відстані 200—400 мм від зрізу детонаційного ствола гармати.

Дистанція напилення вибирається залежно від матеріалу виробу, його розмірів, форми, розпилюваного матеріалу, товщини покриття у межах від 50 до 200 мм.

Необхідну товщину покриття отримують багаторазовим повторенням циклів процесу, шляхом переміщення виробу перед зрізом ствола гармати. Шаг переміщення не повинен перевищувати половини діаметра плями напилення.

До особливостей детонаційного способу нанесення покриттів належать вимоги до твердості поверхні: напилення, яка не повинна перевищувати 60 HRC. Поверхня виробу, яка підлягає напиленню, може бути оброблена з метою отримання на ній шорсткості і не повинна мати гострих кромek. Вони повинні бути закруглені радіусом не менше 1 мм.

Чорнова (технологічна) товщина покриття призначається з врахуванням припуску на механічну обробку, який частіше за все становить 0,1—0,3 мм на сторону.

Закономірності формування структури і властивостей детонаційного покриття із різного класу матеріалів залежить від технології одержання порошку, його властивостей і від технологічних умов напилення.

Матеріали для детонаційного напилення, що вимагають різних умов напилення і відрізняються способом керування властивостями покриттів, можна умовно поділити на три групи.

До першої групи відносяться матеріали, що володіють пластичністю при температурах, нижчих за температуру їх плавлення.

Представниками цієї групи є метали (Al, Ti, Fe) сплави (Al–Cu–Fe, Ni–Al), а також механічні суміші або композиційні порошки, що мають у своєму складі пластичну складову (WC–Co, TiC–Ni, WC–Ni, Cr₂O₃–Ni та ін.).

Керування властивостями покриттів з таких матеріалів полягає у забезпеченні умов напилення, при яких частки порошку легкоплавкої складової нагріваються до 0,8—0,9 $T_{пл}$, прискорюються до максимально можливої для детонаційного процесу швидкості руху. Критерієм якості покриття є міцність зчеплення з основою, щільність шару, його твердість і збереження хімічного та фазового складу вихідного матеріалу.

З погляду досягнення максимальної міцності зчеплення покриття з основою для покриття, що містить тугоплавку складову (карбіди, борида і т.п.) и металеву зв'язку (Ni, Co, Fe) з низькою температурою плавлення основним є склад робочої суміші із співвідношенням кисню до ацетилену 1,2:1,0, а при використанні пропан-бутану — 3,5:1. Додавання до 30 % азоту приводить до збільшення характеристик міцності самого шару, поліпшення якості покриття.

До другої групи відносяться матеріали, що володіють пластичністю, але вимагають нагрівання до температури плавлення $T_{пл}$, через необхідність

формування у них загартованих структур. До цієї групи відносяться сплави, що аморфізуються, охолодження розплавів яких зі швидкостями не менше 10^5 К/с приводить до утворення аморфної фази або дрібнокристалічної структури. Керування властивостями таких покриттів можна вести через зміну товщини шару, що формується за цикл. За критерій якості напиленого шару може служити кількість аморфної фази, що утворилась у ньому.

Зниження ступеня хімічної активності детонаційної суміші з підвищенням швидкості продуктів детонації, збільшується частка аморфної фази і зменшується вміст газів у покритті.

Підвищення об'єму детонаційної суміші при фіксованій витраті матеріалу, що напилюється, також веде до зменшення пористості і підвищення твердості.

При пропорційному зниженні кількості ацетилену та кисню в детонаційній суміші зменшується швидкість продуктів детонації, підвищується час взаємодії продуктів детонації з матеріалом, що напилюється, що погіршує якість покриття.

Підвищення швидкості продуктів детонації сприяє загальному поліпшенню якості покриттів, зокрема, зниженню пористості, збільшенню мікротвердості, росту кількості аморфної фази.

До третьої групи відносяться непластичні матеріали, формування покриттів з яких можливе лише з розплавленого стану. До матеріалів цієї групи, в основному, відносять оксиди. Для оксиду алюмінію, при напиленні якого відбуваються поліморфні перетворення, керування властивостями можливо також здійснювати зміною товщини шару за цикл.

Критерієм якості шару є кількість фази (α — Al_2O_3) з найбільшою твердістю, збільшення якої забезпечується зниженням швидкості охолодження розплаву за рахунок підвищення товщини шару, що напилюється, за цикл. До особливостей технології напилення оксиду алюмінію, варто віднести суттєві відмінності в умовах формування початкового шару покриття на межі з основою і наступних його шарів.

Аналіз залежностей величини міцності від технологічних параметрів напилення, однозначно вказує на перевагу температурного фактору стану часток над швидкісним. Максимальна міцність зчеплення (40—50 МПа) відповідає режимові, при якому нагрівання часток відповідає температурі їх плавлення. При цьому шар на межі з основою містить метастабільну γ -фазу, що відрізняється більш високою хімічною активністю в порівнянні з α -фазою. Це важливо для розвитку контактної взаємодії з оксидною плівкою на поверхні основи. Формування γ -фази більш активно відбувається при різкому охолодженні розплаву. Збільшення вмісту α -фази у наступних шарах, що забезпечує підвищення їх зносостійкості у 3—5 разів, вимагає зниження швидкості охолодження розплаву, що досягається збільшенням у 1,5—2,0 рази товщини наступних шарів за цикл.

Експериментально встановлено, що при детонаційному напиленні температура часток поблизу поверхні напилення може досягти 1400—1600 °C і більше.

Тиск, який діє на розплавлену частку при ударі об основу, підвищує температуру кристалізації на величину до 300 °C.

Відповідне збільшення росту контактної температури досягає 500 °C і більше в зоні дії ударного тиску, та 200—300 °C у зоні дії тиску напору.

Для отримання процесів окислення напилюваних матеріалів рекомендується зменшення часу перебування часток у детонаційно-газовому потоці, збільшити об'ємну концентрацію порошку в детонаційно-газовому потоці, використовувати детонаційно-газові потоки з відновлювальним або нейтральним середовищем, використовувати добавки інертних газів, забезпечити змінний вміст пальної суміші по довжині стволу, вилучати або зменшувати взаємодію імпульсного потоку з навколишнім повітряним середовищем, утворенням високошвидкісних супутніх потоків захисних газів тощо.

5.6. Електродугове наплення

При електродуговій металізації утворення потоку напилюваних часток відбувається за рахунок плавлення матеріалу, який розпилюється багатоамперною дугою, та диспергування його швидкісним струменем газу (рис. 5.3).

Цей процес в основному використовується для наплення корозійностійких та зносостійких покриттів з металів. Можливо отримання біметалічних покриттів псевдосплавів а також покриттів зі спеціальними властивостями при використанні дротів з різних матеріалів або порошкового дроту, який складається з металевої оболонки та порошкової серцевини.

При електродуговій металізації площа активних плям на електродах обмежена невеликим діаметром дроту, який використовується для наплення. Горіння відбувається в умовах дії потужного швидкісного струменю газів. Це обумовлює стиснення стовпа дуги. Особливістю горіння дуги є непостійність її довжини.

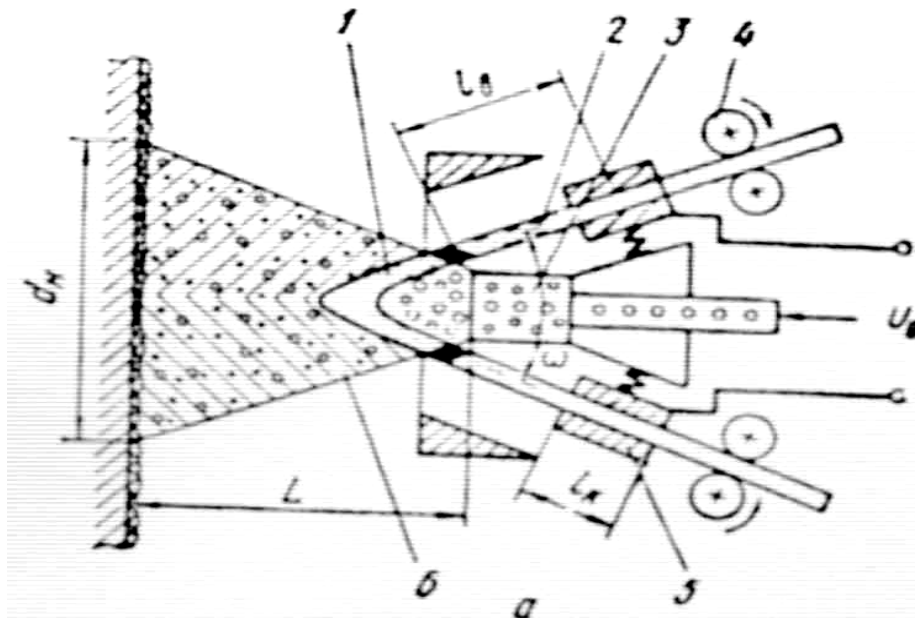


Рис. 5.3. Схема електродугового наплення:

- 1 — електрична дуга;
 2 — дріт; 3 — сопло; 4 — механізм подачі дроту; 5 — контактні пристрої; 6 — струмінь матеріалу, що напилюється; L — дистанція наплення

Теплота, яка виділяється на катодній і анодній плямі, практично повністю витрачається на плавлення електродного дроту. Значна частина теплоти стовпа дуги витрачається на розігрівання розпилюючого газу. При нагріванні дугою торців електродів фронт їх плавлення орієнтується під кутом до осі дроту.

Основними характеристиками електродугового напилення є висока продуктивність процесу, яка може досягати 50 кг/год. та високий енергетичний ККД розпилення, який може бути 0,7—0,9.

Завдяки великим значенням ентальпії напилюваних часток можна отримати покриття з достатньою адгезійною та когезійною міцністю.

При електродуговому напиленні необхідно враховувати інтенсивну взаємодію часток з активною газовою фазою, що призводить до насичення напилюваного металу киснем, азотом, великого вмісту оксидів у покритті. До недопіків можна віднести необхідність використання для напилення тільки дрітчастих матеріалів.

5.7. Плазмове напилення

Плазмово-дуговий метод напилення покриттів полягає в формуванні на поверхні деталі покриття з нагрітих та прискорених високотемпературним плазмовим струменем часток матеріалу, при зіткненні яких з поверхнею основи або напиленим матеріалом відбувається їх з'єднання.

Плазмово-дуговий метод рекомендується для напилення захисних, зміцнювальних та інших видів покриття з порошків металів, оксидів, карбідів, нітридів, боридів та інших тугоплавких з'єднань, із композиційних порошків та механічних сумішей різних порошків, а також з дрітчастих матеріалів.

Плазмовий струмінь утворюється в плазмотроні за рахунок нагрівання плазмоутворювального газу при проходженні його через дугу (рис. 5.4) або завдяки високочастотному індукційному нагріванню (рис. 5.5).

У звичайних умовах, при напиленні у відкритому середовищі і при атмосферному тиску температура плазмового струменя може складати від $5 \cdot 10^3$ до $55 \cdot 10^3$ °С, а швидкість витікання досягти 1000—1500 м/с. Потрапляючи у плазмовий струмінь, частки порошку нагріваються до плавлення і прискорюються у середньому до 50—200 м/с.

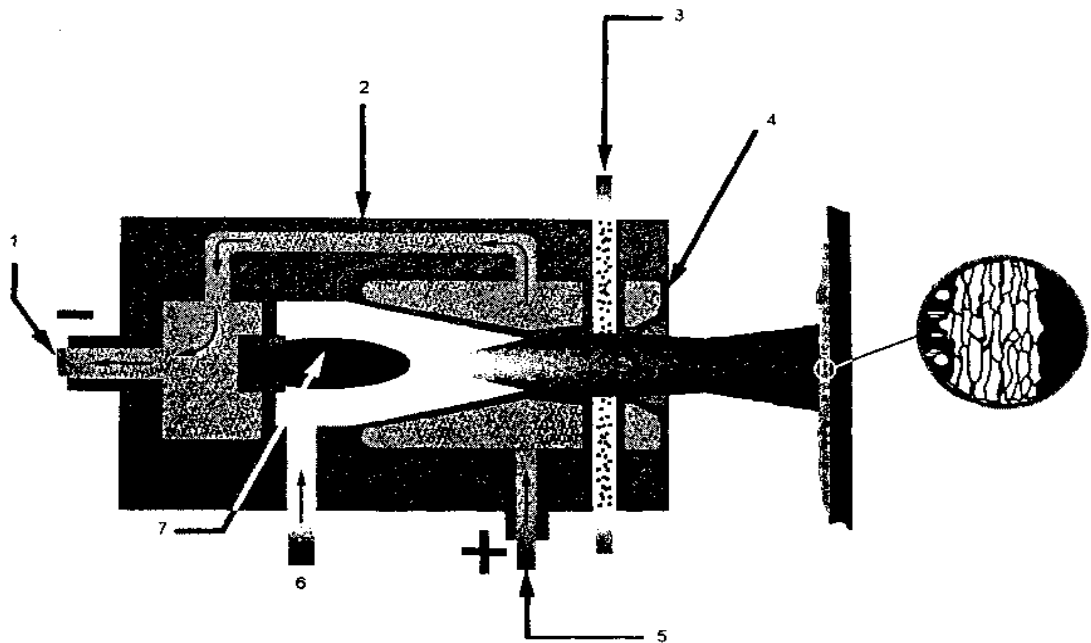


Рис. 5.4. Узагальнена схема плазмового напилення:

1 — вихід води для охолодження та підведення від'ємного потенціалу; 2 — ізолюючий кожух; 3 — транспортуючий газ з порошком; 4 — водоохолоджуваний анод; 5 — вхід води для охолодження та підведення позитивного потенціалу; 6 — подача плазмоутворюючого газу; 7 — катод

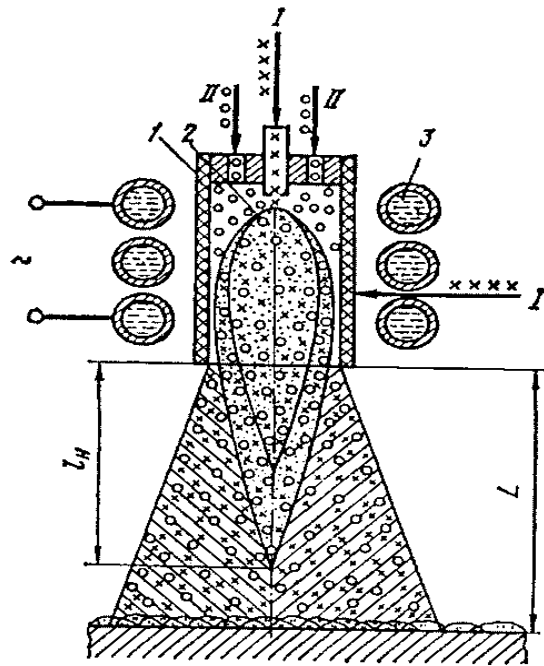


Рис.5.5. Схема плазмового напilenня з високочастотним індукційним нагріванням газу:

1 — сопло плазмотрона; 2 — плазмовий струмінь;
3 — індуктор; I — подача матеріалу, що напильється; II — подача плазموутворюючого газу

При використанні спеціальних плазмотронів з профільованими каналами сопел або при плазмовому напilenні у динамічному вакуумі (способи VPS-Vacuum Plasma Spray та LPPS-Low Pressure Plasma Spray) можна отримати надзвукові швидкості плазмового струменю.

При контакті прискорених часток матеріалу, що напильється з поверхнею, вони зачеплюються з нею за рахунок металургійної, механічної та інших видів взаємодії.

5.8. Газодинамічне напилення покриття

Формування металічного покриття газодинамічним способом засновано на закріпленні твердих металічних частинок, які мають велику кінетичну енергію, на поверхні, що напилюється, у процесі високошвидкісного удару.

Для нанесення покриття цим способом використовується обладнання, конструкція якого забезпечує створення надзвукового газового струменю та введення у цей струмінь часток порошкового матеріалу і їх прискорення до швидкості, необхідної для формування покриття.

Відсутність високих температур, характерних для наведених вище газотермічних методів нанесення покриття, дала підставу авторам цього методу (А. П. Алхімову, В. Ф. Косареву, А. П. Папіріну та ін.) назвати метод "холодне газодинамічне напилення" (ХГН). Термін "холодний" введений для того, щоб підкреслити, що температура часток істотно менше їхньої температури плавлення, а термін "газодинамічне" вказує на першорядну роль високої швидкості частинок при формуванні покриттів.

На рис. . наведено схему установки для ХГН, розробленої інститутом теоретичної та прикладної механіки (м. Новосибірськ) та фірмою Ktech corp.

Метод ХГН реалізують з допомогою надзвукового сопла (сопла Лаваля), яке дозволяє отримати швидкість струменю з числом Маха $M = 2\text{—}4$.

Як прискорювальний газ використовується суміш повітря з гелієм, при загальному тиску у форкамері $P_0 = 2,0$ МПа. Змінюючи склад суміші від чистого повітря до чистого гелію, можна змінювати швидкість часток від 200 до 1200 м/с.

Процес взаємодії часток з основою може бути умовно поділений на три етапи, в залежності від швидкості часток.

На першому етапі при швидкості часток нижче деякої критичної (для порошків міді, цинку, заліза, нікелю, алюмінію грануляцією $d_2 < 50 \cdot 10^{-6}$ м, $V_{кр} = 500\div 600$ м/с) струмінь високошвидкісних часток за рахунок ерозійної дії

ефективно очищує поверхню основи від оксидів, мастила, іржі, абсорбованих речовин та інших забруднень. Поверхня активізується, оголюються ювенільні ділянки, формується розвинений мікрорельєф поверхні основи.

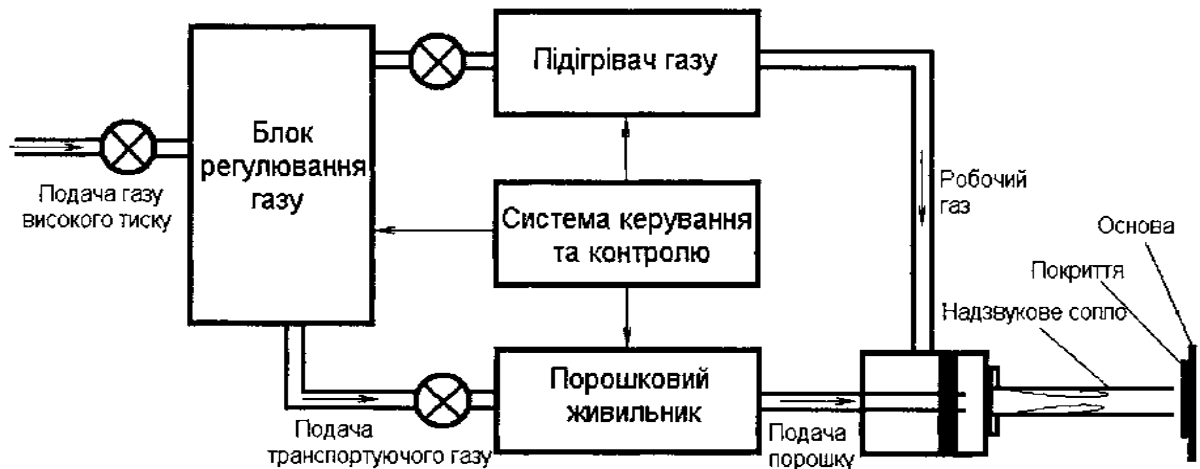


Рис. 5.6 . Схема установки для холодного газодинамічного напилення

На другому етапі при швидкості вище критичної формуються зони контакту покриття з основою, які відповідають за міцність зчеплення. При співударі металевих часток з поверхнею основи відбувається їх пластична деформація та утворення у контактній плямі металічних зв'язків без плавлення або мікрозварювання на окремих ділянках плавлення.

На третьому етапі, відбувається формування наступних шарів покриття. При цьому частки, що напилюються контактують не з основою, а з раніше напиленими частками.

5.9. Вакуумно-конденсаційне напилення

Серед методів надання поверхневим шарам деталей машин і конструкцій спеціальних функціональних властивостей в останні роки все ширше застосовуються процеси вакуумно-конденсаційного нанесення покриття (ВКНП).

Вакуумно-конденсаційне напилення — це одержання покриттів за рахунок конденсації на поверхні атомів та іонів вихідного матеріалу, який випаровується або розпилюється у вакуумі при нагріванні.

В англomовній літературі процеси, які використовують такі фізичні явища як випаровування металів, фізичне осадження корпускулярного потоку речовини або сполуки металу з газом (нітридів, карбідів, боридів, силіцидів, оксидів), отриманих з використанням електричних явищ на поверхню холодної або незначно підігрітої основи, називаються PVD-процесами (Physical Vapour Deposition Processes).

Наслідком взаємодії корпускулярного потоку речовини на рівні атомів, молекул, іонів з поверхнею твердого тіла може бути або конденсація — осадження речовини на поверхню — нанесення покриття у вакуумі, або хімічна взаємодія й осадження з парової (газової) фази, в ході якого стійкі тверді продукти реакції утворюються і ростуть на поверхні основи в середовищі, де відбуваються хімічні реакції (дисоціація, відновлення і таке інше). В англomовній літературі останні процеси відносяться до CVD- процесів (Chemical Vapour Deposition Processes).

Техніка ВКНП передбачає використання корпускулярного потоку речовини на рівні атомів, молекул, іонів і взаємодії цього потоку з поверхнею твердого тіла. Наслідком цієї взаємодії є або конденсація — осадження речовини на поверхню, нанесення покриття, або насичення речовиною поверхневого шару — модифікування поверхневого шару легуванням, імплантацією. Всі ці процеси відбуваються у вакуумі. Імплантація іонів металів і неметалів полягає у іонізації парів металів або газів та прискоренні позитивних іонів за допомогою електричних полів до швидкості, при якій кінетична енергія іонів достатня для того, щоб зануритись у метал або неметал на, глибину декількох атомних шарів (імплантація первинних іонів) і виділити вторинні іони в основу матеріалу, який обробляється. Імплантовані іони змінюють структуру та хімічний склад поверхневого шару матеріалу, що обробляється. Імплантацію іонів іноді називають іонним легуванням.

Процеси ВКНП (PVD) можна класифікувати за такими ознаками:

1. За способами отримання корпускулярного потоку металів та сполук, що напилюються на поверхню виробу:

- термічним випаровуванням металу або сполуки безперервною або імпульсною дією джерела нагрівання;
- іонним розпиленням металів і сполук.

2. За способом нанесення парів металу:

- конденсації з пари — нанесення неіонізованих або незначно іонізованих (долі відсотку) парів металу або сполуки, які отримуються термічними методами шляхом випаровування. Іонізація парів відбувається не у тій зоні, де отримують пару;

- іонно-плазмове напилення — нанесення парів металу або сполук шляхом випаровування та термічної сублімації, значно іонізованих вакуумною дугою або іншим джерелом іонізації порівняно з конденсацією з пари;

- розпилення — нанесення іонізованих парів металів, отриманих шляхом розпилення металу іонами інертного газу, які отримуються внаслідок іонного розряду.

3. За способами активації процесів нанесення покриття:

- без активації процесу нанесення покриття;
- реактивний метод, який дозволяє внаслідок реакції реактивних газів (азоту, кисню, аміаку, вуглеводневих газів) з парою металів отримати сполуки (нітриди, оксиди, карбіди тощо) на поверхні, що покривається;
- активування процесу іонізації газів та парів металу шляхом використання додаткових фізичних процесів: тліючого розряду, постійних або змінних електричних або магнітних полів тощо

1. Що таке газотермічне напилення.
2. Переваги і недоліки технології напилення.
3. Структура газотермічного напилення.
4. Вакуумно-конденсаційне напилення.
5. Газофазні покриття.
6. Композиційні електролітичні покриття.
7. Матеріали для нанесення покриття.
8. Технологічні процеси підготовки поверхонь.
9. Детонаційне напилення.
10. Електродугове напилення.

ТЕХНОЛОГІЧНЕ УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТЯ

6.1. Класифікація устаткування для газотермічних процесів нанесення покриття

Обладнання для підготовчих операцій: установки для очищення, мийки, механічної, струменево-абразивної та термічної обробки комплектуються у загальну технологічну лінію або може бути виділено у окрему виробничу дільницю.

Будь-яка установка для газотермічного нанесення покриття складається з розпилювача, механізму подачі матеріалу, який розпилюється (дроту, порошку, прутків або гнучкого шнура), джерела енергопостачання, системи, по якій подається розпилюючий газ, пульта керування.

На рис. 6.1 наведена функціональна узагальнена схема установки для газотермічного напилення.



Рис. 6.1. Узагальнена схема установки для газотермічного напилення

У зв'язку з багатофакторністю процесу газотермічного напилення основною умовою високої якості та стабільності властивостей покриття є кон-

троль за підтриманням всіх технологічних параметрів процесу на визначених оптимізованих рівнях.

Для цього на сучасних установках для газотермічного напилення використовують системи комп'ютерного керування та фіксації параметрів процесу і роботи.

Сучасні установки газотермічного напилення комплектуються системою охолодження деталі у процесі напилення.

Установки для напилення класифікуються за методом напилення залежно від виду використаної енергії:

- газополуменевого напилення;
- детонаційного напилення;
- плазмового напилення;
- електродугового напилення;
- газодинамічного напилення.

Класифікувати установки залежно від форми матеріалу, який використовується для напилення, можна на такі, що використовують дріт; морошок; прутки; гнучкий шнур.

За рівнем механізації установки можуть бути ручними, механізованими, автоматизованими.

Загальні вимоги до установок для напилення такі:

- отримання стабільного потоку часток, що напилюються;
- можливість регулювання потоку часток за продуктивністю, температурою, швидкістю;
- забезпечення високого значення енергетичних коефіцієнтів розпилення та напилення;
- загальні витрати енергії;
- коефіцієнт використання матеріалу;
- можливість механізації та автоматизації процесу;
- великий ресурс роботи та надійність установки;
- безпека та зручність у використанні;

- висока продуктивність процесу та питома продуктивність апаратури;
- мінімальна матеріалоємність та невелика вартість установки.

6.2. Устаткування для газополуменового напилення

Аналіз існуючого обладнання для газополуменового напилення показав, що в основному виробляються ручні апарати для напилення.

На Україні та в країнах СНД розроблені та серійно випускаються установки для напилення порошками та дротом. Схема установки для порошкового напилення наведена на рис. 6.2.

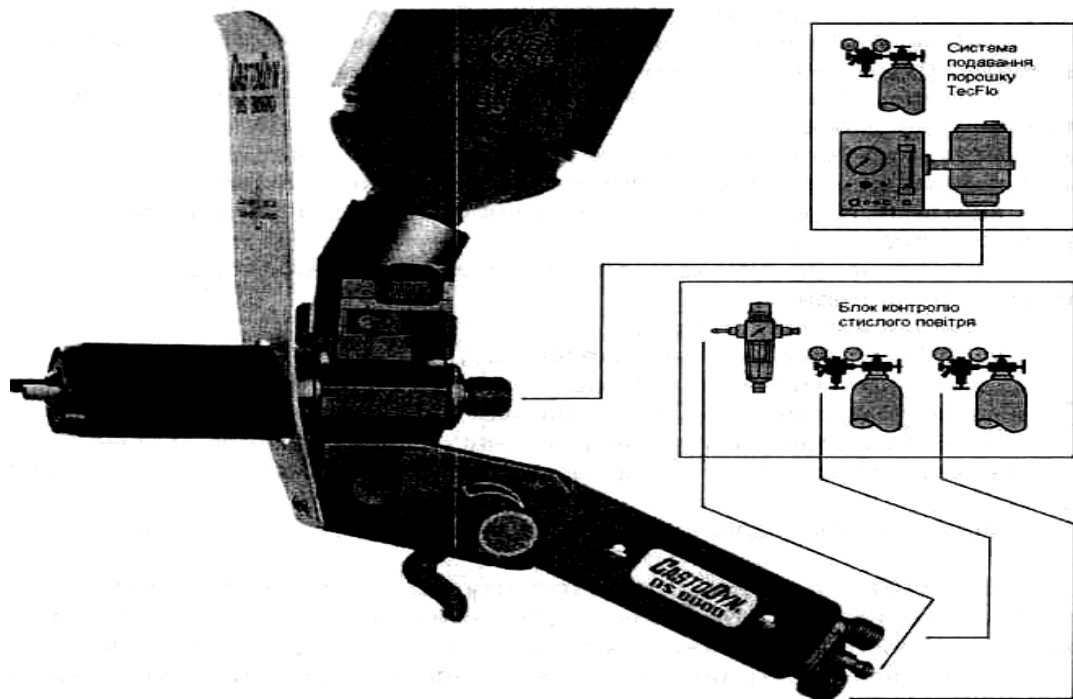


Рис. 6.2. Схема установки для порошкового напилення

Серед найбільш поширеного устаткування для порошкового газополуменового напилення є пальники ГН-3, Євро-Джет, Могул У-9, установки (модулі) газополуменового напилення УГПЛ, УГПН-5, УГПТ, УПН8-68, Л-5405, УН-134, пост газополуменового напилення 01.05-161 "Ремдеталь" та ін.

Пальник ГН-3, розроблений ВНДІ Автогенмаш, призначений для наплення порошкових самофлюсуючих твердих сплавів з метою зміцнення поверхні, а також для виправлення дефектів та механічних пошкоджень. Його створено на базі відомого пальника для зварювання ГЗ, в який між стволом пальника та ін.

Аналогічну конструкцію має пальник Євро-Джет XS8, розроблений австрійською фірмою “MTS” і виготовлений на СП “Інтерфакел” (Україна). Він призначений для газополуменевого наплення порошкових матеріалів з метою відновлення та зміцнення спрацьованих деталей. Пальник оснащений двома типами живильників: гравітаційним, для “холодного” наплення (рис. 6.3, б) та живильником з інжекційною подачею порошків (рис. 6.3, а).

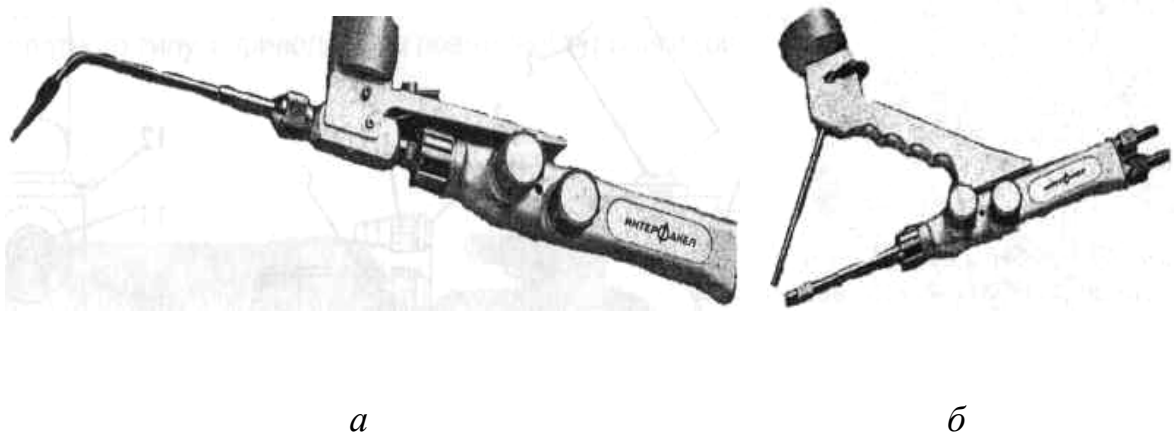


Рис. 6.3. Пальник для наплення порошкового матеріалу типу “Євро-Джет”: а — з інжекційною подачею порошку; б — з гравітаційною подачею порошку

Пальники для порошкового наплення Могул У-9 та Могул UP-1, які виготовляються СП “Інтерфакел” (рис. 6.4), конструктивно виконані у вигляді пістолета та розроблені для наплювання металевих та керамічних порошків. За допомогою цього пальника можливо наносити покриття товщиною від 0,1 мм до декількох міліметрів на деталі типу “вал”, а також на плоскі деталі.

Газополуменевий пальник для напilenня Могул У-9 безінжекторного типу і керування здійснюється на допоміжному обладнанні за рахунок регулювання витрат і тиску на панелі керування. Вентилем 4 вмикають подачу пального газу, підпалюють і переводять вентиль в інше положення, при цьому утворена газова суміш через канали в корпусі потрапляє в багато-сопловий мундштук, де на зрізі відбувається горіння (рис. 9.4. *а*). Всередині мундштука знаходиться отвір 15 для подачі порошку в потік продуктів гарячої суміші.

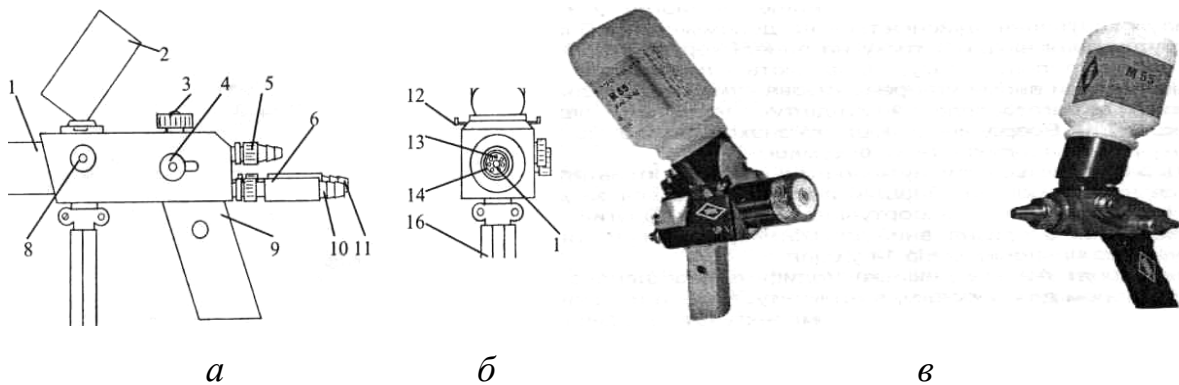


Рис. 6.4. Конструкція (*а*) і зовнішні вигляд (*б, в*) пальників “Могул”:

1 — соплова частина пальника; 2 — бункер живильника; 3 — вентель регулювання обтискующего повітря; 4 — загальний вентель регулювання пальної суміші; 5 — штуцер обтискующего повітря; 6 — запобіжний затвор; 7 — фіксатор сопла; 8 — вентиль регулювання подачі порошку; 9 — ручка пальника; 10 — штуцер окислювального газу; 11 — штуцер пального газу; 12 — механізм перекриття подачі порошку; 13 — сопла виходу пальної суміші; 14 — кільцевий отвір обтискующего повітря; 15 — отвір для витікання порошку; 16 — пристрій для закріплення пальника на верстаті; *б* — з повітряним обтискуванням факелу; *в* — без обтискування факелу

У штуцер 5 подається стиснуте повітря, після цього загальний потік розділяється на два потоки. Перший потік регулюється за допомогою вентилля 8 і служить для транспортування порошку.

Другий потік, який керується вентилем 3, призначений для обтискування повітрям двофазного потоку через кільцевий отвір 14 у соплі.

Пальник Могул У-9 має декілька модифікацій зі швидкозмінним та постійним бункером для порошку, який монтується на пальнику, з окремою місткістю для порошку та може комплектуватися різними прискорюючими насадками (рис. 6.4, б, в).

Для дротяного газополуменового напилення використовують пальники пістолетного типу з приводом від повітряної турбинки (рис. 6.5).

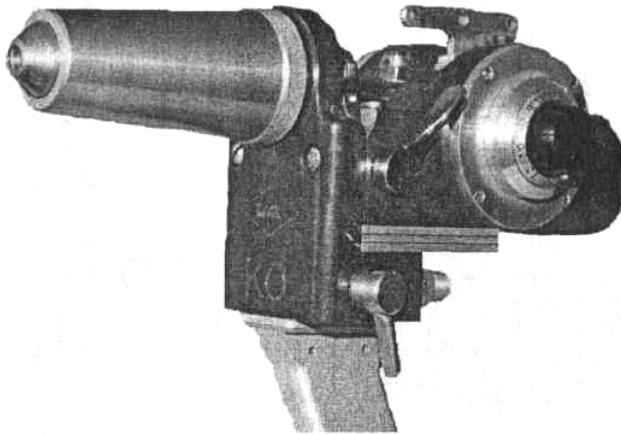


Рис. 6.5. Пальник для напилення дротяного матеріалу

Металізатор газовий МГИ-4 (рис. 9.6) призначений для газополуменового нанесення покриття з дротяних металічних матеріалів, таких як цинк, алюміній, мідь, сталь, бронза тощо. Його можна використовувати вручну або встановлювати на супорті токарного верстата, який забезпечує необхідне взаємне пе-

реміщення пальника та виробу.

Металізатор випускають у двох варіантах: МГИ-4А для роботи на суміші ацетилен-кисень і МГИ-4П для роботи на суміші пропан-кисень.

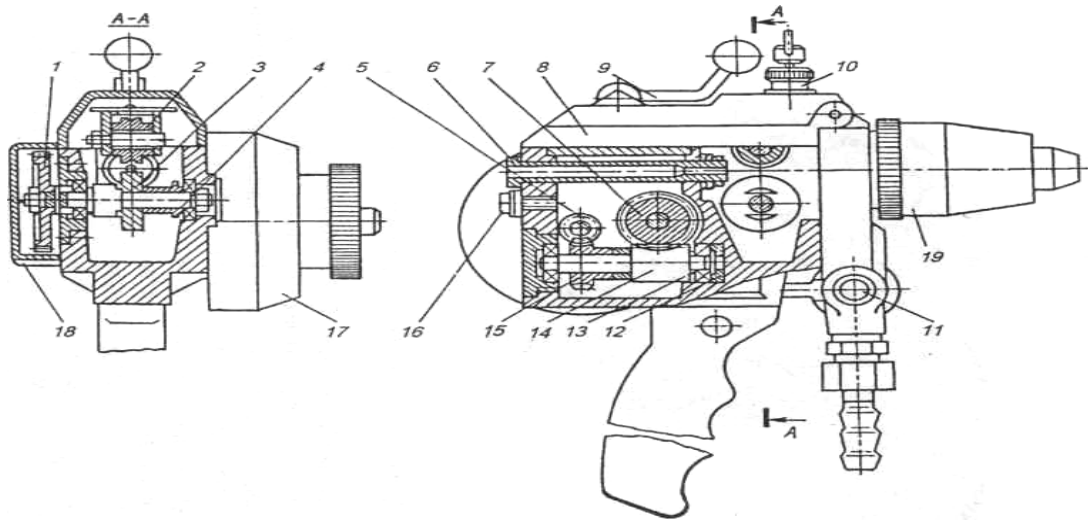


Рис. 6.6. Ручний металізатор МГІ-4 для газополуменевого напилення дротяного матеріалу:

1 — змінна шестерня; 2 — нажимний ролік; 3 — провідний ролік; 4 — вал; 5, 14 — черв'як; 6 — штуцер; 7, 15 — черв'ячне колесо; 8 — кришка; 9 — гачок; 10 — регулювальний гвинт; 11 — кран;
12 — шайба спеціальна; 13 — шайба регулювальна; 16 — пробка; 17 — турбінний привід; 18 — кожух; 19 — розпилююча голівка

6.3. Устаткування для детонаційного напилення

Основним елементом детонаційно-газової установки (ДГУ) для розпилення є вибухова або детонаційна камера. Конструктивно вона має вигляд ствола постійного або перемінного перерізу. У камері утворюється вибух та формується високошвидкісний струмінь продуктів вибуху та порошку. У простішому варіанті вибухова камера — це довгелезна труба з отворами для введення робочої газової суміші, порошку та запального пристрою. Для роботи в автоматичному режимі необхідно водяне охолодження.

Вибухові розпилюючі камери класифікуються:

- за способом введення порошку: з вісьовою та радіальною подачею;
- за способом ініціювання вибуху: з прямим та форкамерним підпалом;
- за способом подачі вибухової суміші: з попереднім та прямим змішу-

ванням;

- за способом подання порошку: з інжекторною та примусовою подачею;
- за періодичністю введення газової суміші: з безперервним та періодичним введенням;
- за конструкційними особливостями: з камерою-стволом постійного та перемінного перерізу, з прямолінійним стволом і у вигляді змійовика.

Найбільше поширення отримали установки з механічним клапанним механізмом подачі робочих газів (рис. 6.7) та електромагнітним клапанним механізмом (рис. 6.8).

Під час роботи установки ДНП-6М з механічним керуванням циклу (рис. 6.) порція робочої суміші (C_2H_2 та N_2) від системи газопроводів через механізм газорозподілення 14, який механічно пов'язаний з розподільним валом 9, всмоктується киснем в інжекційний змішувач 15 і проштовхується через буферну гвинтову канавку у ствол 1, куди від порошкового живильника 3 з електродинамічним вібратором 4 транспортує газом (азотом або повітрям) подається виважений порошок, (лабільність характеристик вібратора забезпечує високу точність дозування порошку. Підпал вибухової суміші відбувається від іскри запальної свічки, керованої електронним блоком підпалу 12.

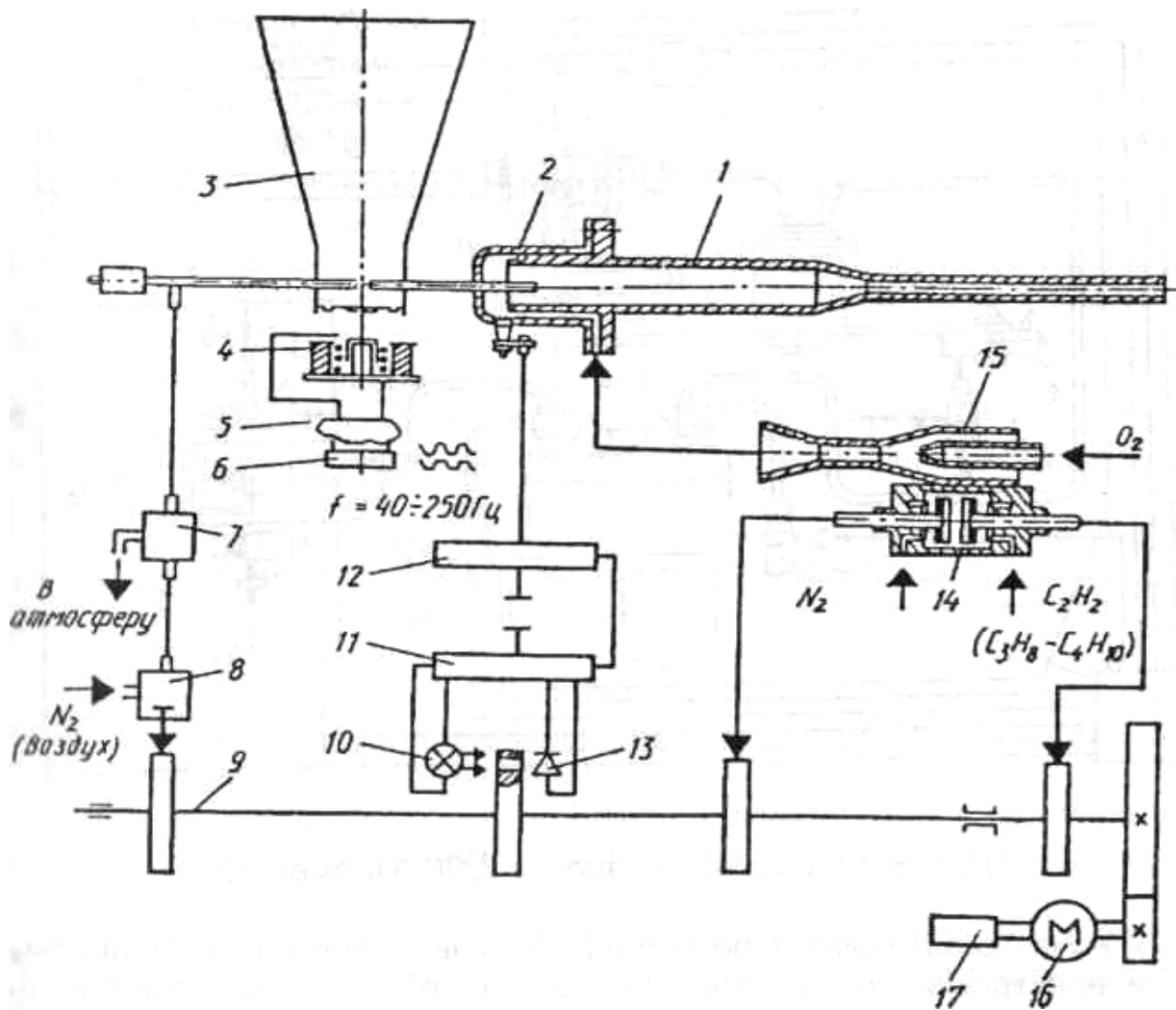


Рис. 6.7. Схема установки ДНП-6М:

1 — ствол; 2 — буферна канавка; 3 — порошковий живильник; 4 — вібратор; 5 — підсилювач; 6 — генератор імпульсу; 7 — трьохходовий електромагнітний клапан; 8 — клапан; 9 — розподільвальний вал; 10, 13 — оптопара з відкритим оптичним каналом; 11 — підсилювач потужності; 12 — блок підпалу; 14 — газорозподільвальний механізм; 15 — інжекційний змішувач; 16 — електродвигун; 17 — блок регулятора частоти обертів

Електромеханічне керування циклів зі золотниковим газорозподільвальним механізмом використано також в установці “Дніпро”.

6.4. Обладнання для електродугового наплення

Регулярний випуск устаткування для електродугового наплення розпочато в 40-х роках минулого сторіччя. В останні роки поширився випуск

комплектного обладнання для електродугового нанесення покриття. До комплекту обладнання для електродугового нанесення покриття (рис. 9.13) входить електродуговий металізатор (апарат для електродугового нанесення покриття), напилюваний матеріал (дріт), джерело електроживлення.

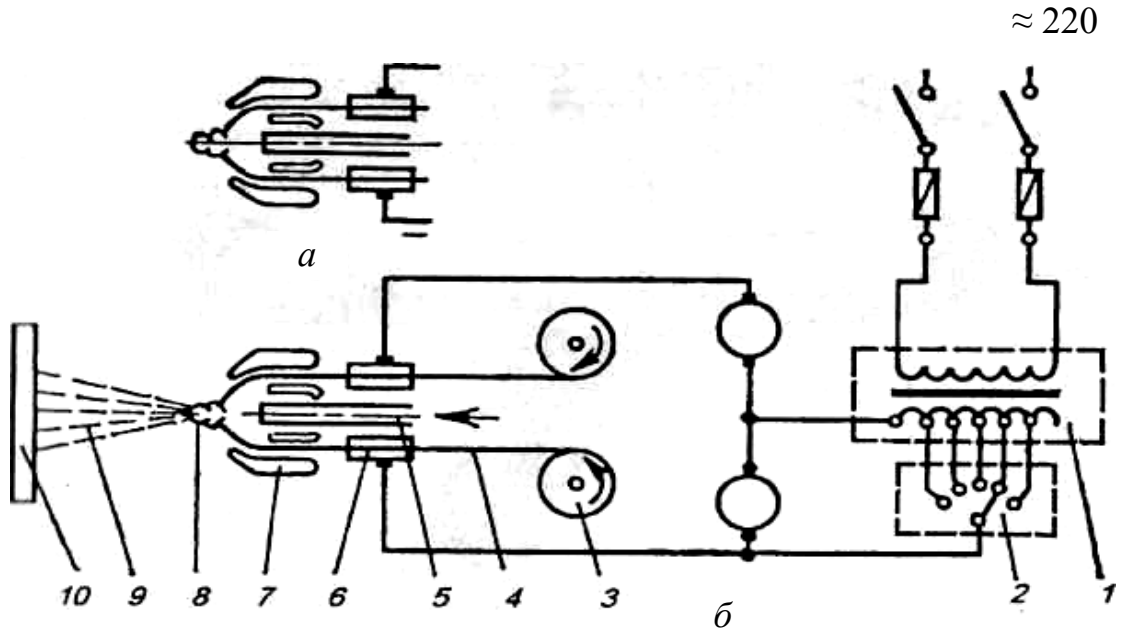


Рис. 6.8. Схема установки для електродугового напилення:

а — на постійному струмі; *б* — на змінному струмі: 1 джерело електроживлення; 2 — вимірювальні прилади; 3 — котушки з дротом; 4 — дріт; 5 — сопло для стиснутого повітря; 6 — контакти; 7 — пристрій для спрямовування дроту; 8 — електрична дуга; 9 — факел з розпилюваним матеріалом; 10 — виріб, що напилюється

Устаткування для електродугового напилення можна класифікувати за такими ознаками:

- за ступенем рухомості: стаціонарні та пересувні;
- за кількістю дроту, який водночас розплавлюється: дводротяні та багатодротяні;
- за приводом подачі дроту: з пневматичним та електричним.

Електродуговий металізатор ЕМ-14М може бути використаний як у складі комплекту КДМ-2, так і автономно при наявності відповідного джере-

ла електроживлення та допоміжних пристроїв. У разі механізованого процесу його встановлюють на супорт токарного верстата або в інший пристрій для переміщення металізатора відносно напилюваної деталі.

Електродуговий металізатор (рис. 6.9) складається: з турбинного приво-
ду 18; з індукційним регулятором швидкості подачі дроту; двоступінчастого
черв'ячного редуктора 12, 13; механізму подачі дроту 14, 15; розпилюючої
головки 16 і повітряного крана 17.

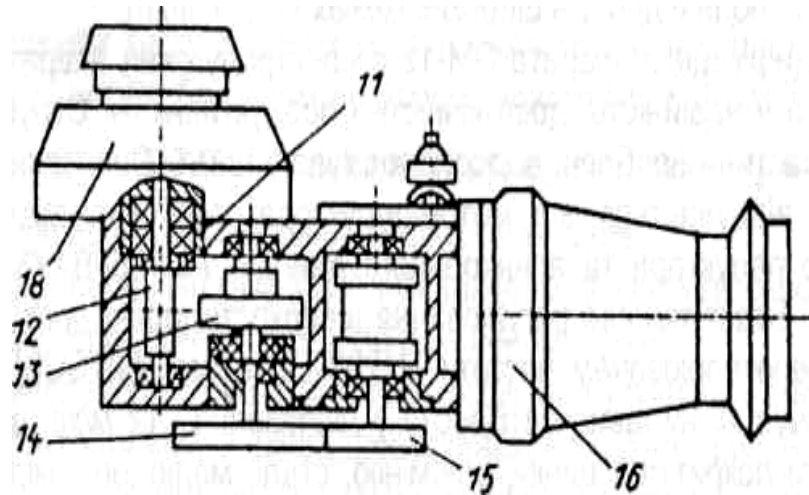


Рис. 6.9. Схема електродугового металізатора ЕМ-14М

Турбінний привід забезпечує безперервне обертання роликів механізму подачі дроту та плавне регулювання швидкості їх обертання. Швидкість обертання турбіни 3500 об/хв.

Двоступінчастий черв'ячний редуктор, який розташовано у герметичному корпусі, передає обертання на третю ступінь зі змінними циліндричними шестернями 14, 15, за допомогою яких відбувається ступінчасте регулювання швидкості подачі дроту від 5,5—12 м/хв при положенні, показаному на рис. 9.14

до 2—6,5 м/хв у разі зміни шестерен місцями.

Механізм подачі дроту складається з ведучих роликів, які закріплені на ізоляційних втулках. На відкидній верхній кришці закріплені на пружинній підвісці притискні ролики. Необхідне зусилля притискання роликів регулюють за допомогою гвинта.

У розпилюючій головці передбачена можливість регулювання положення точки схрещення дротів шляхом повороту башмаків на контактних трубах та переміщення направляючих пластин.

Для автономної роботи з електродуговим металізатором ЕМ-14М необхідно мати мережу стиснутого повітря з тиском 0,5—0,6 МПа і витратами 90 м³/год, касети для укладання бухт з дротом, розміщення яких повинно виключати можливість контакту дротів при розмотуванні.

6.5. Устаткування для плазмового напилення

Установки для плазмового напилення можна класифікувати за такими ознаками:

1. За способом отримання плазми установки з дуговими плазмовими розпилювачами та високочастотними індукційними розпилювачами.
2. За способом захисту процесу обладнання з місцевим та загальним захистом. Для напилення з місцевим захистом використовують різні насадки на плазмотрон, місцеві негерметизовані камери та інші пристрої. Розповсюдження отримало обладнання для плазмового напилення з загальним захистом процесу у жорстких герметизованих камерах.
3. За рівнем тиску в камері розрізняють установки для напилення при тиску у камерах, близьким до атмосферного ($P_k = 0,1$ МПа); в низькому вакуумі ($P_k = 133$ Па і вище); при підвищеному тиску ($P_k > 0,1$ МПа).

Найбільш поширене обладнання перших двох типів.

4. За регенерацією газу з повним викидом плазмоутворюючого газу в атмосферу і його регенерацією по замкненому циклу.

У промисловості отримали розповсюдження установки для плазмово-дугового напилення. У склад цих установок входить (рис. 6 .) плазмотрон 7, джерело живлення постійного струму 4, пульт керування 1 з контрольно-вимірювальними та регулюючими приладами, пристрої для підпалювання

дуги 5, порошковий живильник 6 або система подачі дроту, система газопостачання 2 та водяного охолодження 3, система автоматичного блокування у разі аварійних ситуацій (падіння тиску води, плазмоутворюючого газу, коротке замикання тощо).

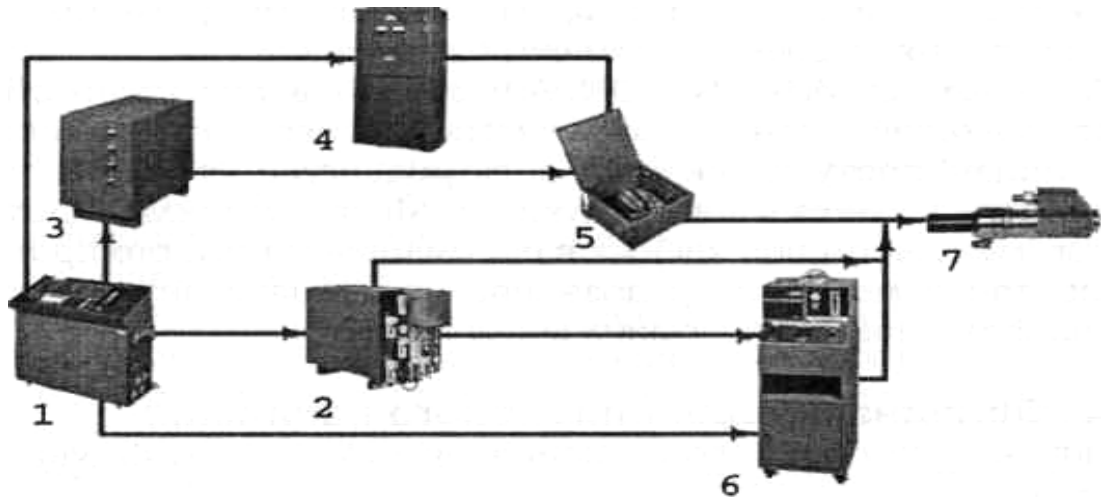


Рис. 6.10. Блок-схема установки для плазмового напилення

Основним компонентом обладнання для напилення покриття є плазмотрон.

Плазмотрони для напилення складаються, як правило, з двох корпусних вузлів, розділених ізоляційною вставкою (рис. 6.11).

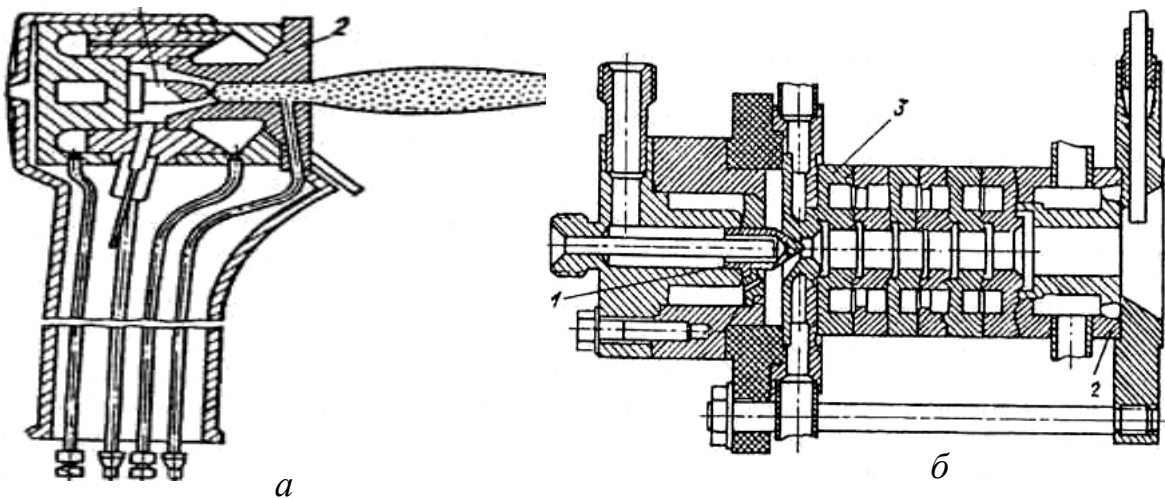


Рис. 6.11. Схема плазмотронів для напилення:

a — система, де довжина дуги встановлюється сама; *б* — з фіксованою довжиною дуги за рахунок міжелектродної вставки (МЕВ)

До вузла, з'єднаного з позитивною клемою джерела живлення, прикріплюється змінне сопло-анод 2, а в корпусі, з'єднаному з негативною клемою джерела живлення, розміщується центральний електрод-катод.

Для забезпечення герметичності системи охолодження плазмотрона між деталями плазмотрона встановлюються гумові та фторопластові ущільнення. Вода для охолодження подається, як правило, по шлангу з струмопідводом до анодного вузла, а злив води відбувається по шлангу струмопровода катодного вузла.

Анод, здебільшого, виготовляють з міді, а катоди для плазмотронів, які працюють в інертних та відновлювальних газах з вольфраму. У плазмотронах, які працюють на газових сумішах з окислювачами, використовують цирконієві або гафнієві катоди.

Контрольні запитання

1. Яка існує класифікація устаткування для газотермічного нанесення покриття.
2. Які види устаткування існують для газополуменового напилення.
3. Як влаштовано обладнання для детонаційного напилення.
4. Обладнання для електродугового напилення.
5. Устаткування для плазмового напилення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Восстановление деталей машин : справочник / Ф. И. Пантелеенко, В. Л. Лялякин, В. П. Иванов, В. М. Константинов // под ред. В. П. Иванов. — М. : Машиностроение, 2003. — 672 с.
2. Восстановление деталей машин : справочник / И. В. Молодык, А. С. Зенкин. — М. : Машиностроение, 1989. — 563 с.
3. Восстановление и повышение износостойкости и срока службы деталей машин / под ред. В. С. Попова. — Запорожье : Изд-во ОАО «Мотор Сич», 2000. — 394 с.
4. Воловик Е. Л. Справочник по восстановлению деталей / Е. Л. Воловик. — М. : Колос, 1981. — 351 с.
5. Гладкий П. В. Плазменная наплавка / П. В. Гладкий, Е. Ф. Переплетчиков, И. А. Рябцев. — К. : Екотехнологія, 2007. — 292 с.
6. Грохольский Н. Ф. Восстановление деталей машин и механизмов сваркой и наплавкой / Н. Ф. Грохольский. — М. : Машиностроение, 1962. — 480 с.
7. Зусин, В. Я. Сварка и наплавка алюминия и его сплавов / В. Я. Зусин, В. А. Серенко. — Мариуполь : Издательство «Рената», 2004. — 468 с.
8. Камель Г. І. Технологічні процеси та комплекси відновлення і зміцнення деталей : конспект лекцій / Г. І. Камель, В. М. Мілютін. — Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2014. — 167 с.
9. Корж В. М. Нанесення покриття : навчальний посібник / В. М. Корж. — К. : Арістей, 2005. — 204 с.
10. Кудинов В. В. Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование // В. В. Кудинов, Г. В. Бобров. — М. : Металлургия, 1992. — 432 с.

11. Кусков, Ю. М. Электрошлаковая наплавка / Ю. М. Кусков, В. Н. Скороходов, И. А. Рябцев, И. С. Сарычев. — М. : Наука и технология, 2001. — 180 с.
12. Новые материалы для газотермического напыления защитных и восстановительных покрытий / Ю. С. Борисов, И. А. Козьяков // Сварщик. — 1998. — № 6. — С. 18—19.
13. Лейначук Е. И. Электродугонаплавка деталей при абразивном и гидроабразивном износе / Е. И. Лейначук. — К : Наукова думка, 1985. — 160 с.
14. Молодик Н. В. Підвищення якості відновлення деталей машин / Н. В. Молодик. — К : Урожай, 1978. — 175 с.
15. Рябцев И. А. Наплавка деталей машин и механизмов / И. А. Рябцев. — К. : Екотехнологія, 2004. — 160 с.
16. Сидоров А. И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой / А. И. Сидоров. — М : Машиностроение, 1978. — 198 с.
17. Хасуи А. Техника напыления : пер. с японского / А. Хасуи. — М. : Машиностроение, 1975. — 288 с.
18. Шехтер С. Я. Наплавка металлов / С. Я. Шехтер, А. М. Резницкий. — М. : Машиностроение, 1982. — 71 с.

НАВЧАЛЬНЕ ВІДАННЯ

Конспект лекцій з дисципліни «Наплавлення та напилення» для студентів усіх форм навчання напрямку 6.050504 «Зварювання»

Укладачі: Камель Георгій Іванович , докт.техн.наук, професор,
Гасило Юрій Анатолійович , канд. техн. наук, доцент

51918, м. Кам'янське, вул. Дніпробудівська,2

Підписано до друку _____ 2017 р.

Формат 80/34 1/16. Обсяг ____ др. арк.

Наклад 10 примірників. Замовлення _____

