

НАДІЙНІСТЬ МАШИН ТА ОБЛАДНАННЯ

Частина 2

РЕМОНТ МАШИН ТА ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ



**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**

**Ружи́ло З. В., Мельник В. І., Новицький А. В.,
Ревенко Ю. І., Бистрий О. М., Попик П. С., Мельник В. І.**

НАДІЙНІСТЬ МАШИН ТА ОБЛАДНАННЯ

Частина 2.

**РЕМОНТ МАШИН ТА ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ
НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК**

**Київ
2023**

УДК 62-192:62-2:629.083(072)

Авторський знак Н 17

Рекомендовано до видання рішенням вченої ради Національного університету біоресурсів і природокористування України (Протокол №5 від 22 листопада 2023 року)

Рецензенти:

- Борак К. В.** – доктор технічних наук, доцент, заступник директора Житомирського агротехнічного фахового коледжу;
- Барановський В. М.** – доктор технічних наук, професор кафедри технології і обладнання зварювального виробництва Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя;
- Несвідомін В.М.** – доктор технічних наук, професор кафедри нарисної геометрії, комп'ютерної графіки та дизайну НУБіП України.

Ружи́ло З. В., Мельник В. І., Новицький А. В., Ревенко Ю. І., Бистрий О. М., Попик П. С., Мельник В.І. **Надійність машин та обладнання. Частина 2. Ремонтування машин та відновлення деталей:** навчальний посібник. Київ : НУБіП України, 2023. 309 с.

ISBN 978-617-8102-68-5

В навчальному посібнику розглянуті основні методи і способи ремонтування сільськогосподарської техніки та методи і способи відновлення працездатності її елементів. Ефективність виконання усіх видів ремонтних робіт і технічного обслуговування сільськогосподарської техніки із застосуванням прогресивних технологій може забезпечуватись широко розвинутою системою наукових, виробничих та інших структур. Тому необхідно здійснювати роботи щодо створення й удосконалення ремонтно-обслуговувальної бази аграрного виробництва.

Під час формування навчального посібника використані вітчизняний і закордонний досвід щодо ремонтування та обслуговування сільськогосподарської техніки, відповідні наукові розробки, результати фундаментальних наукових досліджень, виконаних та впроваджених в навчальний процес за участі авторів. Матеріал, викладений відповідно до навчальної програми, сприятиме якісній і цілеспрямованій підготовці фахівців з питань ремонтування машин, обладнання та відновлення деталей.

Матеріали, що увійшли до посібника, можуть бути корисними як для студентів і викладачів інженерних спеціальностей закладів вищої освіти, так і за підготовки магістрів, аспірантів, а також для широкого кола інженерно-технічного персоналу.

УДК 006.91(072)

ББК 30.10

© Ружи́ло З. В., Мельник В. І., Новицький А. В.,
Ревенко Ю. І., Бистрий О. М., Попик П. С., Мельник В.І. 2023

© НУБіП України, 2023

ISBN 978-617-8102-68-5

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Ружи́ло Зіно́вій Володи́мирович



Кандидат технічних наук, доцент кафедри надійності техніки Національного університету біоресурсів і природокористування України. Викладає дисципліни «Ремонт машин та обладнання», «Надійність сільськогосподарської техніки», «Проектування підприємств технічного сервісу». Наукові інтереси пов'язані із забезпеченням надійності сільськогосподарської техніки, відновленням деталей машин. Автор понад 350 наукових праць, з яких 2 підручники, 4 навчальних посібники, 2 монографії, 37 патентів.

Електронна адреса: ruzhylo@nubip.edu.ua

Мельник Валентина Іванівна



Кандидат економічних наук (1997 р.), доцент (2001 р.) кафедри надійності техніки Національного університету біоресурсів і природокористування України. Викладає навчальні дисципліни «Економічна ефективність конструкторських рішень», «Економіка технічних систем». Автор 3 монографій, 2 навчальних посібників, 20 наукових статей, 30 друкованих методичних розробок, 2 патентів на корисну модель України.

Електронна адреса: vim2607@gmail.com

Новицький Андрій Валентинович



Кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри надійності техніки Національного університету біоресурсів і природокористування України.

Викладає основні навчальні дисципліни: «Надійність обладнання лісового комплексу», «Надійність технічних систем обладнання лісового комплексу», «Проектування підприємств технічного сервісу», «Надійність сільськогосподарської техніки». Автор та співавтор понад 400 наукових праць, з яких 2 монографії, 3 навчальних посібники, понад 50 наукових статей, 30 друкованих методичних розробки, 25 патентів на винаходи та корисні моделі України.

Електронна адреса: novytskyu@nubip.edu.ua

Ревенко Юлій Іванович



Кандидат технічних наук, доцент кафедри надійності техніки Національного університету біоресурсів і природокористування України. Викладає основні навчальні дисципліни: «Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання», «Стандартизація і сертифікація обладнання лісового комплексу».

Автор та співавтор 2 навчальних посібників, 1 монографії, наукових статей, методичних розробок, патентів на корисні моделі України.

Електронна адреса: revenko@nubip.edu.ua

Бистрий Олександр Миколайович



Старший викладач кафедри надійності техніки Національного університету біоресурсів і природокористування України. Викладає основні навчальні дисципліни: «Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання», «Надійність сільськогосподарської техніки». Автор понад 60 наукових статей, вітчизняних фахових і зарубіжних виданнях, 10 патентів на корисну модель України.

Електронна адреса: anbystry@ukr.net

Попик Павло Сергійович



Кандидат технічних наук, доцент кафедри надійності техніки Національного університету біоресурсів і природокористування України.

Викладає основні навчальні дисципліни: «Проектування технологічних процесів технічного сервісу», «Надійність обладнання технічного сервісу», «Управління та логістика сервісних підприємств», «Основи керування технікою», «Проектування підприємств технічного сервісу».

Автор та співавтор 3 навчальних посібників, 3 монографій, наукових статей, методичних розробок, 14 патентів на корисну модель України та 2 на винахід..

Електронна адреса: PSPopyk@gmail.com

Мельник Вікторія Іванівна



Кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри надійності техніки Національного університету біоресурсів і природокористування України.

Викладає основні навчальні дисципліни: «Основи економіки транспорту»; «Економіка будівництва»; «Економічна ефективність конструкторських рішень»; «Економіка аграрного виробництва»; «Теорія і методика наукових досліджень».

Автор та співавтор навчальних посібників, монографій, наукових статей, методичних розробок, патентів на корисні моделі України.

Електронна адреса: melnykvika@nubip.edu.ua

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. ВІДНОВЛЮВАННЯ СПОСОБАМИ МЕХАНІЧНОГО ОБРОБЛЮВАННЯ Й ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ	12
1.1. Відновлювання посадок регулюванням положення деталі, вузла, агрегату....	12
1.2. Усунення пошкоджень деталей слюсарно-механічним оброблюванням.....	13
1.3. Верстатне оброблювання деталей	15
1.4. Усування пошкоджень і дефектів деталей встановлюванням додаткового елемента	21
1.4.1. Застосування згортних розрізних втулок з розкочуванням.....	21
1.5. Ремонтнування корпусних деталей фігурними вставками й стяжками	24
1.6. Ремонтнування різьбових з'єднань	27
1.7. Усунення пошкоджень деталей контактним приварюванням сталеві стрічки	30
1.8. Способи, обладнання, оснащення за відновлювання деталей пластичним деформуванням.....	37
РОЗДІЛ 2. ВІДНОВЛЮВАННЯ СПОСОБАМИ НАНЕСЕННЯМ КОМПЕНСАЦІЙНОГО ШАРУ	54
2.1. Загальні підходи щодо способів зварювання та наплавлювання.....	54
2.1.1. Зварювання й наплавлювання як способи відновлення зношених деталей	54
2.1.2. Зварювальні й наплавлювальні матеріали.....	63
2.1.3. Джерела струму для дугового зварювання і наплавлювання.....	70
2.1.4. Зварюваність чорних металів.....	72
2.1.5. Зварювання чавуну, відновлення чавунних деталей	78
2.1.6. Загальні характеристики способів механізованого зварювання та наплавлювання	85
2.2. Наплавлювання під шаром флюсу.....	87
2.3. Наплавлення в захисних середовищах.....	72
2.4. Дугове наплавлення з газополуменевим захистом	98
2.5. Вібродугове наплавлювання	100
2.6. Електрошлакове наплавлювання	108
2.7. Наплавлювання порошковими дротами	110

2.8. Плазмово-дугове наплавлювання	113
2.9. Індукційне наплавлювання.....	117
2.10. Лазерне наплавлювання.....	121
2.11. Відновлення деталей нанесенням гальванічних покриттів	130
2.11.1. Теоретичні основи усунення пошкоджень деталей нанесенням гальванічних покриттів.....	130
2.11.2. Технологія підготовки деталей до нанесення електролітичних покриттів	133
2.11.3. Нанесення гальванічних покриттів	134
2.11.4. Оброблювання деталей після нанесення електрохімічного покриття...	157
РОЗДІЛ 3. СПЕЦИФІЧНІ МЕТОДИ ВІДНОВЛЮВАННЯ ТА ЗМІЦНЮВАННЯ ПОВЕРХОНЬ	158
3.1. Відновлювання деталей газотермічним напилюванням	158
3.2. Відновлювання деталей машин металізуванням	168
3.3. Високочастотне напилювання під час відновлення деталей.....	179
3.4. Детонаційне напилювання	180
3.5. Електроіскрове легування під час зміцнювання й відновлювання техніки...	182
3.6. Зміцнювання металу конденсацією з іонним бомбардуванням	191
3.7. Застосування полімерів під час відновлювання деталей	193
Розділ 4. СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЮВАННЯ.....	219
4.1. Металізування.....	219
4.2. Імпульсно-плазмове зміцнювання.....	231
4.3 Електролітно-плазмове зміцнювання.....	236
4.4. Мікродугове оксидування	242
4.5. Зміцнювання відновлених деталей статико-імпульсним обробленням	253
4.6. Холодне залізнення періодичним струмом	260
4.7. Комбінована технологія відновлювання та зміцнювання деталей послідовним залізоборидуванням	262
РОЗДІЛ 5. СУЧАСНІ СПОСОБИ ВІДНОВЛЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ	267
5.1. Відновлювання гільз циліндрів гальваноконтатним осадженням композитних покриттів	267
5.1.1. Спосіб гальваноконтатного осаджування композитних покриттів на основі хрому.....	270

5.1.2. Спосіб гальваноконтактного осаджування композитних покриттів на основі заліза	273
5.2. Сучасні способи застосування полімерних матеріалів для відновлювання деталей підшипникових вузлів	280
5.2.1 Відновлення підшипників ковзання типу «втулка», «вкладиш», «шестерня» полімерними композиційними наноматеріалами	280
5.2.2 Відновлення посадкових місць підшипників полімерними матеріалами	292
5.3. Вибір раціонального способу відновлення деталей	304
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	310

ВСТУП

У процесі експлуатування машин деталі та механізми втрачають свою геометричну форму, початкові розміри, властивості матеріалу. Зазначені зміни, пов'язані з різними пошкодженнями, наприклад, спрацювання поверхонь тертя, деформацією, накопиченою втомленістю, корозією. Більшість деталей, які отримують такі дефекти у процесі ремонтування мають бути відновленими. Мета відновлення – поновити міцність, форму і розміри деталей, якість поверхневого шару: шорсткість поверхні; захисні покриття, тобто надати деталям необхідний ресурс.

Відновлювання деталей дозволяє ремонтно-обслуговувальним підприємствам та майстерням господарств скорочувати час простоювання несправних машин, підвищувати якість їх технічного обслуговування й покращувати показники надійності і використання машин. Технологічні методи і способи відновлення деталей можна об'єднати у дві групи: способи нанесення компенсувального шару матеріалу і способи оброблювання. До першої групи належать ті, за яких зношений матеріал деталі компенсують нанесенням спеціальних покриттів, у тому числі комбінованих. До них належать зварювання і наплавлювання, напилювання, металізування, паяння, нанесення електролітичних металопокриттів та полімерних матеріалів.

До оброблення віднесені технологічні способи, пластичне деформування (оброблювання тиском), слюсарно-механічні, електричні способи, зміцнювання тощо.

Проведення робіт щодо усунення пошкоджень деталей полягає у відновленні їх технічного ресурсу, ремонтуванні як агрегатів, так і машин.

Усунення пошкоджень, відновлення посадок, відновлення початкового зазору або натягу можуть здійснюватись такими методами: регулюванням спряжень; відновленням чи оброблюванням деталей під змінений (ремонтний) розмір; відновленням попчаткових розмірів, геометричних параметрів деталей; замінюванням зношених деталей новими із нормальними розмірами.

Технічна сторона усунення пошкоджень полягає в забезпеченні високої якості деталей, необхідної для покращення показників надійності відремонтованих

агрегатів і машин. Для цього потрібно відновити геометричні параметри корпусних і базових деталей. Під час ремонтування і відновлювання деталей проводиться їх модернізація, покращується геометрія посадкових і опорних місць: підвищується твердість і стійкість до спрацювання шляхом накочування, наклепування, нанесення твердих покриттів, покриттів із метало- та полімерів, що дозволяє досягнути не тільки вихідного ресурсу, але й перевищити його.

Регулювання передбачені в конструкціях деяких спряжень тракторів, автомобілів і сільськогосподарських машин, наприклад, регулювання зазорів в конічних роликівих і радіальноупорних підшипниках за допомогою регулювальних гайок чи прокладок або шляхом затягування розмірних втулок.

Відновлювання посадок шляхом ремонтних розмірів є на сьогодні досить розповсюдженим методом. У однієї із деталей усувають викривлення геометричної форми і чистоти поверхні, викликані спрацюванням, а іншу деталь замінюють новою або відновленою із зміненими розмірами. Спряженню повертають першопочатковий зазор або натяг, але деталі будуть мати розміри, відмінні від першопочаткових. Наприклад, циліндр розточують під збільшений ремонтний розмір і встановлюють новий поршень.

Відновлення посадок шляхом надання деталям всіх першопочаткових параметрів є більш досконалим, але й більш вартісним методом. Водночас зазор чи натяг в спряженні приводиться до початкової величини внаслідок відновлення першопочаткових розмірів деталей, їх геометричної форми і чистоти поверхні. Розміри деталей відновлюють різними видами наплавлювання, пластичного деформування, гальванічного нарощування або іншими способами. Відновлюванню до першопочаткового розміру може підлягати тільки одна із деталей, а інша замінюється новою. Повне замінювання спряжених деталей здійснюється в тих випадках, коли відновити деталь існуючими способами неможливо або недоцільно, виходячи із економічних міркувань.

Дослідженнями встановлено, що за відхилення положення навіть нових деталей від заданого, в результаті порушених геометричних параметрів корпусів, післяремонтний ресурс агрегатів трансмісії складає лише 30 - 40% від доремонтного.

В результаті проведених досліджень і здійснених розробок підготовлені і пройшли виробничу перевірку технології електроконтактного приварювання проволочи на спрацьовані поверхні, стрічки, напікання спеціальних порошків, наплавлювання твердих сплавів, газополуменевого напилювання й індукційного приварювання порошкових матеріалів, які застосовують для відновлення деталей із малими величинами спрацювання (до 1 мм). Для відновлення деталей, що мають значне зношування, розроблені такі процеси відновлення, як електрошлакове наплавлювання, заливання рідким металом, пластичне деформування.

Загальна структура обсягу робіт, що виконуються під час відновлювання деталей на ремонтних підприємствах, передбачає використання різних способів відновлення: наплавлювання під шаром флюсу – 32%; наплавлювання в середовищі вуглекислого газу – 20%; вібродугове наплавлювання – 12%; наплавлювання порошковим дротом без флюсового чи газового захисту – 10%; електроконтактне напікання – 6%; відновлювання деталей полімерами – 5%; гальванічні способи – 5%; заливання деталей рідким металом – 2%; плазмове наплавлювання – 1,5%; електрошлакове наплавлювання – 1,5%; електромеханічне оброблювання – 1%; інші способи – 5.

Розділ 1. ВІДНОВЛЮВАННЯ СПОСОБАМИ МЕХАНІЧНОГО ОБРОБЛЮВАННЯ Й ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ

1.1. Відновлювання посадок регулюванням положення деталі, вузла, агрегату

Відновлювання жорсткості з'єднань деталей здійснюється наступними способами: підтягуванням ослаблених кріпильних деталей (підтягуваних різьбових з'єднань) послаблених заклепок; заміною непридатних кріпильних деталей і відновленням поверхонь з'єднуваних деталей, наприклад, замінювання зношених болтів і відновлення різьбових поверхонь.

Відновлення правильного взаємного розміщення деталей, вузлів і агрегатів залежно від конструкції вузла або агрегату цей вид несправностей усувають одним із наступних способів:

1) *регулюванням* місця розташування вузла чи агрегату в машині. Наприклад: на рамі тракторів можна переміщувати двигун для відновлення правильного його положення відносно коробки передач, у коробок передач тракторів можливо переміщувати вузол веденого валу для забезпечення правильного зазору в конічних шестернях.

2) *відновленням* деталі, що визначає місце розташування вузлів і агрегатів в машині. Сутність цього способу полягає в тому, що базисна деталь, яка визначає місце розташування інших деталей і вузлів, піддається ремонтним операціям, в результаті яких відновлюють правильне розміщення її поверхонь, що служать опорами і базами для других деталей.

3) *підтягуванням* кріплень. Часто зміщення деталей чи вузлів відбувається через ослаблення кріплень. Відновлення правильного положення деталей, вузлів тощо досягається підтягуванням кріплень і відновленням чи встановленням фіксувальних деталей.

1.2. Усунення пошкоджень деталей слюсарно-механічним оброблюванням

При ремонті сільськогосподарських машин досить часто необхідно виконувати слюсарні роботи, такі як: розмітка, рубання, обпилювання метала, правка, згинання, свердлування і нарізання різей тощо.

При відновленні посадкових місць підшипників, свердлуванні отворів після заварювання, оброблювання шпонкових пазів, шліців, виконують розмітку, яка полягає в нанесенні на поверхні деталі чи заготовлювання рисок, ліній, крапок, які показують до яких меж потрібно зняти метал при обпилюванні, струганні чи фрезеруванні або в якому місці деталь треба свердлувати. Розмітку проводять на розміточній плиті за допомогою інструмента: лінійки, рейсмуса, циркуля, керна, легкого молотка тощо. Правильність розмітки в більшості залежить від вибору бази. За базу приймають зовнішні оброблені кромки деталей, ось симетрії або центрові лінії, які наносять в першу чергу. Якщо за ремонтування потребується розмітка великої кількості однакових деталей, то виготовляють шаблон, користуючись яким на деталі переносяться потрібні розміри.

Рубання листового, полосового, пруткового чи іншого профілю метала проводять в холодному стані за допомогою електромеханічних ножиць. При виконанні цих операцій вручну використовують молотки, зубила і крейцмеселі.

Для запобігання попадання в робочих можливих осколків дільниця, на якій проводять рубку має бути обгороджена сіткою і щитками, а слюсар повинен користуватись захисними окулярами, для захисту рук використовувати рукавиці.

Для надання заготовині відповідної форми, розмірів із заданою точністю, а також припасування поверхонь спряжених деталей проводять обпилювання, тобто оброблювання метала напилком.

За обирання напилка враховують властивості метала, окреслення поверхні, яку оброблюють та величину припуску. Потрібно враховувати, що припуск залишений для подальшого оброблювання, повинен бути найменшим, але достатнім для того, щоб забезпечити потрібну форму і розміри деталі. Напилки із грубою насічкою 6 - 10 зубів на 1 см називаються драчевими. Напилки із середньою насічкою 12 - 24 зубів на 1 см – личними. При обпилюванні дрібних деталей застосовують напилки

малих розмірів – надфілі. Вони мають різну форму і січення: плоске, кругле, трикутне. В ремонтних майстернях для обпилювання використовують механізований інструмент із електричним приводом чи зачисні верстати із гнучким валом. Якість опилювання частіше всього перевіряють на просвіт.

Правкою називають операцію по вирівнюванню викривленої або покоробленої деталі. При виконанні ремонтних робіт холодна правка проводиться вручну (але не часто) за допомогою молотка, ковадла, а також застосовують спеціальні пристосування, гідравлічні преси, для запобігання вминання деталей із обробленими поверхнями при правці використовують накладки із м'якого метала або дерева. Листовий метал правлять на плиті за допомогою дерев'яних молотків.

Згинання листової сталі при ремонті й виготовленні деталей (кожухів) вентиляторів проводять на спеціальних згинально-вальцювальних верстатах. Згинання великих заготовин здійснюють із попереднім підігріванням. Одна із частих і разом з тим складних операцій – згинання труб. Щоб запобігти зім'яттю стінок труби, проводять гаряче згинання. Для цього в трубу насипають сухий пісок із двох сторін встановлюють дерев'яні заглушки (пробки із просвердленими в них отворами). Потім місце згинання нагрівають і користуючись спеціальним шаблоном проводять операцію. При згинанні труб використовують пристосування для згинання і спеціальні трубозгинальні верстати.

Свердлування отворів і нарізання різьби в майстернях частіше виконують на свердлувальних верстатах, але інколи використовують електричні і пневматичні інструменти. Для свердлування отворів підбирають відповідного діаметра свердла, виготовлені із вуглецевої, легованої чи швидкорізальної сталі. До основних елементів процесу свердлування відносять: швидкість різання, подачу, глибину різання тощо.

При необхідності високої точності і чистоти поверхні отвору, просвердлюваного в металі, тонкий шар металу додатково знімають розгорткою.

Для нарізання різьби в отворах застосовують мітчики. Щоб отримати якісну різьбу, користуються не одним мітчиком, а комплект, який складається із двох мітчиків. При підготовці до нарізання різьби, необхідно завжди враховувати, що отвори мають бути просвердлювані під відповідний розмір різьби.

При ремонті машин зустрічаються також часто такі дефекти, як: зірвана різьба, або забита на болтах (стрижнях). Зовнішнє нарізання різьби проводять різцем на токарному станку або вручну, за допомогою плашок.

При ремонті машин в майстернях значна частина робіт припадає на верстатне оброблювання металів різанням. Робітник з ремонтування с.г. машин повинен знати технології і способи оброблення металів, володіти ручним і механізованим інструментом, вміти заточити і заправити інструмент, виконувати свердлувальні роботи, нарізати різьбу тощо.

1.3. Верстатне оброблювання деталей

Різні види обробки сталевих і чавунних деталей, а також вузлів сільськогосподарських машин можуть бути виконані на різних верстатах: відрізання заготовин – механічною пилкою, різцем на токарному верстаті; обробка круглих отворів – свердлом, зенкером, розгорткою на свердлувальному чи токарному верстаті; нарізання різьби мітчиком на свердлувальному верстаті, різцем на токарному верстаті, обробка поверхонь тіл обертання – різцем на токарному верстаті, шліфувальним каменем на шліфувальному станку.

На свердлувальних верстатах виконують свердлування, розсвердлювання, зенкування, зенкерування, розгорткування отворів, а також нарізання внутрішніх різьб у отворах.

Для проведення цих робіт в ремонтних майстернях використовують різні типи свердлувальних верстатів: настільні, настінні, вертикально-свердлувальні. Основною характеристикою свердлувальних верстатів є найбільший діаметр свердлування і виліт інструмента.

Обирання баз визнається суттєвим елементом відновлення розмірно-точнісних характеристик деталі за здійснення механічного оброблювання. Базами визначаються лінії, поверхні, точки або їх сукупність, що є необхідними для орієнтування деталі відносно інструменту на верстаті. Бази за призначенням поділяють на вимірювальні, технологічні або конструкторські.

Конструкторські бази визнаються, як сукупність поверхонь, що використовуються для визначення деталей у складальній одиниці.

Технологічні бази – поверхні, лінії або точки, що призначені для встановлювання деталі на верстаті і орієнтування її відносно різального інструменту.

Вимірвальні бази – поверхні, лінії або точки, від яких вимірюють розміри.

Технологічні бази можуть бути основними і допоміжними.

Основною технологічною базою визначають поверхню, яка використовується для орієнтування деталі в машині, вузлі або на верстаті. Прикладом можуть слугувати корінні шийки колінчастого вала, посадкові місця під маховик і шестерню використовують для орієнтування колінчастого вала у процесі складання відносно інших деталей. Згадані варіанти можуть бути обрані за технологічні бази за чистового оброблювання колінчастого вала на верстаті.

Допоміжними технологічними базами можуть бути поверхні, які визначають положення деталі під час оброблювання, що створюються спеціально. Вони можуть являти собою спеціальні поверхні, поверхні центрових отворів, поясків біля отворів тощо. Прикладом допоміжних технологічних баз можуть слугувати центрові отвори колінчастого вала.

Для здійснювання механічного оброблювання застосовують універсальні і спеціалізовані пристрої. Так універсальні пристрої використовуються на круглошліфувальних і токарних верстатах для оброблювання у центрах (хомутикові пристрої, центри, центрові оправки, люнети) і патроні (дво-, три-, чотирикулачкові і цангові).

Монтаж деталей на фрезерних верстатах здійснюють, використовуючи поворотні пристрої і столи, лещата.

Здійснення технологічних операцій на свердлувальних верстатах передбачає застосування різноманітних різцевих оправок, кондукторних плит, поворотних пристроїв.

Розмірно-точнісні характеристики деталей, які підлягали ремонтуванню різними видами наплавлювання, відновлюють *точінням*. Різальна частина інструменту за твердості наплавлювального шару HRC менш за 40 виготовляється із

твердих сплавів Т5К10 і Т15К6, за НРС більш за 40 – ВК8, ВК6. Використання охолоджувальної рідини, що містить 5 - 8% емульсолу, 0,2% кальцинованої технічної соди і воду, є обов'язковим елементом такого виду оброблювання. Для обточування загартованих сталей застосовують різці з від'ємним переднім кутом $\gamma_2 = -10 \dots 15^\circ$ або надтвердих матеріалів (гексаніт-Р, ельбор-Р, синтетичний алмаз типу баланс тощо).

Для холодного оброблювання загартованих і наплавлених сталей, чавунів, твердих сплавів ефективним є використання одного з різновидів нітриду бору – Гексаніту-Р, що являє собою полікристалічний матеріал, отриманий за високоімпульсного тиску.

Кубічний нітрид бору Ельбор-Р, що характеризується великою хімічною інертністю до заліза і термостійкістю, набув широкого застосування як матеріал різців для обточування важкооброблюваних сталей і сплавів, особливо у загартованому стані.

У порівнянні з різцями із твердих сплавів різці із синтетичних алмазів типу баланс (АСБ) характеризуються вищою у 2-3 рази стійкістю під час точіння, а також забезпечують високу продуктивність різання, стабільність лінійних розмірів деталей, необхідну шорсткість поверхонь.

Для виготовлення шліфувальних кругів, паст і різців використовують лейкосапфір і рубін. Але синтетичний монокристал Al_2O_3 у вигляді α -модифікації, яким і є лейкосапфір на відміну від рубіна майже не має домішок. Різці цього монокристалу призначені для обточування матеріалів, отриманих наплавленням електроконтактним приварюванням, за режиму: швидкість точіння $v = 50$ м/хв; подавання $S = 0,05$ мм/об.; глибина різання $t = 0,1$ мм.

Інтенсивному зношуванню різального інструменту сприяє висока температура ($1000 - 1050^\circ C$), що утворюється під час точіння осадів електролітичного заліза у зоні різання. Точіння осадів електролітичного заліза передбачає застосування відповідного режиму: подавання $S = 0,12$ мм/об.; передній кут різця $\gamma = 0^\circ$; швидкість різання $v = 56$ м/хв; задній кут - $\alpha = 10^\circ$; глибина різання $t = 0,2$ мм; головний кут у плані $\phi = 60^\circ$; допоміжний кут у плані $\phi_1 = 30^\circ$. Температура за

точіння м'яких осадів у 1,2 - 1,7 рази вища, ніж за точіння твердих покриттів. Найкращими за результативністю процесу точіння є твердосплавні різці Т30К4.

Розмірно-точністі характеристики деталей, отриманих наплавленням твердими порошковими матеріалами або нарощуванням електролітичних покриттів відновлюють методом *шліфування*. Шліфування також застосовують як фінішну операцію після точіння і для відновлення колінчастих валів до ремонтних розмірів.

Особливої складності набуває оброблювання шліфування поверхонь, які відновлюються напилюванням стійких до зношування порошоків та наплавленням. У цьому випадку найефективнішими є електрохімічні, електрофізичні методи оброблювання, а також метод шліфування з використанням абразивного інструменту (наприклад, алмазного).

В залежності від технологічного процесу виробництва і використання синтетичні алмази можуть існувати у вигляді порошку, що характеризується рівнями міцності: звичайна – АСЗ, підвищена – АСП) і висока – ДСВ.

Як абразивні матеріали використовують електрокорунд нормальний (12А, 13А, 14А, 15А, 16А), електрокорунду хромистий (32А, 33А, 34А), електрокорунд білий (22А, 23А, 24А, 25А), карбід кремнію зеленого (63С, 64С) з розмірами абразивних часточок у сотих долях міліметра: шліфзерно (200, 160, 125, 100, 80, 63, 50, 40, 32, 25, 20, 16); шліфувальні порошки (12, 10, 8, 6, 5, 4, 3); мікропорошки (розмір зерна) у мікрометрах (М40, М28, М20, М14, М10, М7, М5).

Класифікація абразивних кругів поділяються за твердістю: м'які (М1, М2); середньом'які (СМ, СМ1, СМ2); середні (С1, С2, С); середньотверді (СТ, СТ1, СТ2); тверді (Т, Т1, Т2); достатньо тверді (ВТ1, ВТ2); надтверді (ЧТ1, ЧТ2).

Сухе шліфування забезпечує найкращі показники процесу оброблювання поверхонь, отриманих в результаті порошкового наплавлення з використанням сормайт, УС-25, ФБХ-6-2, ПГХНСПЗ. Поверхні, отримані за використання ПГХНСПЗ доцільно оброблювати шліфувальними кругами з хромистого електрокорунду 34А40СМ16К, а з УС-25, ФБХ-6-2 – шліфувальним кругом з карбиду кремнію 64С25СМ16К.

Режим чорнового шліфування характеризується наступними показниками: колова швидкість деталі $v_d = 11$ м/хв; колова швидкість $V_k = 35$ м/с; швидкість

знімання металу Q_m (для сормайту становить $7 \text{ см}^3/\text{хв}$, для УС 25 – $4 \text{ см}^3/\text{хв}$, для ФБХ-6-2 – $4,5 \text{ см}^3/\text{хв}$, для ПГХН80СРЗ – $3 \text{ см}^3/\text{хв}$). Чистове шліфування рекомендується здійснювати за хвилинного подавання $S_{tm} < 0,15 \text{ мм/хв}$.

Синтетичні алмазні круги (АСП25К6-50) з 50%-вою концентрацією алмазів у крузі застосовують з метою відновлювання деталей з електролітичним покриттям. Оптимальним режимом шліфування таких поверхонь синтетичними алмазними кругами є наступний: колова швидкість круга $v_k = 30 \text{ м/с}$; колова швидкість відновлюваної деталі $v_d = 20 \dots 25 \text{ м/хв}$; поздовжнє подавання $S = 1 - 1,5 \text{ мм/об.}$; глибина шліфування $t = 0,01 - 0,02 \text{ мм/хід}$. За здійснення шліфування у такий спосіб також передбачається застосування охолоджувальної рідини (3 - 5% розчин емульсолу у содовій воді).

Загалом шліфування забезпечує точність поверхні IT6 – IT8 із шорсткістю R_a 0,5 - 0,2 мкм.

Для фінішного оброблювання внутрішніх поверхонь деталей застосовують *хонінгування*. Метою такого оброблення є підвищення показників шорсткості поверхонь деталі (наприклад, отвір нижньої головки шатуна, внутрішня поверхня гільзи циліндру тощо).

Для здійснення попереднього хонінгування використовують бруски з електрокорунду або карбиду кремнію, зернистість яких становить 16 - 12 мкм, чистового – бруски із зернистістю 4 - 3 мкм. Операція здійснюється за питомого тиску 0,6 - 1,4 МПа та колової швидкості хона 8 - 20 м/хв.

Для здійснення попереднього хонінгування також використовують алмазні бруски АС15250/200-М1-100 із концентрацією алмазів у брусках на рівні 100%, а для завершувальної операції – АСМ28/20-М1-100.

Ремонтні підприємства під час здійснення хонінгувальних операцій забезпечують використання як мастильно-охолоджувальну рідину суміш 40 % машинної оливи з додаванням гасу, яка є токсичною і вогнебезпечною. Тому на виробництві рекомендованою є масляна рідина ОСМ-І, яка має температуру спалахування не нижче за 94°C .

Хонінгування забезпечує отримання поверхні із шорсткістю R_a 0,16 - 0,025 мкм і точністю обробки за IT5 – IT7.

Як кінцеве оброблювання зовнішніх поверхонь застосовують *суперфінішування* з використанням абразивних брусків, які здійснюють осцилювальний і поздовжній рух відносно деталі, яка обертається. Матеріалом брусків може бути корунду із зернистістю 3 - 4 мкм на керамічній основі або білий електрокорунд, твердість – МІ, СМ1. Режим здійснення хонінгування: колова швидкість обертання деталі – 0,03 - 0,33 м/с; амплітуда коливань брусків – 2 - 4 мм; кількість подвійних ходів – 500 - 1500 за хвилину; швидкістю переміщення пристрою вздовж деталі – 0,1 - 0,15 мм/об.

Суперфінішування забезпечує шорсткість поверхні R_a 0,16 - 0,025 мкм, точність обробки – IT5 - IT7.

Як мастильно-охолоджувальну рідину використовують ті ж рідини, що й за здійснення хонінгування.

Для одержання найменшої шорсткості поверхонь ексцентричних, фасонних і циліндричних деталей (наприклад, полірування шийок і жолобників колінчастих валів) застосовують *полірування* з використанням алмазних стрічок. Виконання таких операцій визначає потребу у токарних або круглошліфувальних верстатах та стрічках (наприклад, алмазна стрічка типу АСО-100%-Р9 зернистістю 80/63-40/23 мкм) завдовжки 1500 - 2200 мм і завширшки до 60 мм.

Режими здійснення полірування: швидкість подавання стрічки – 35 м/с; амплітуда поперечно-коливального руху – 2 – 6 мм; частотою коливань на хвилину за наявності обертального руху деталі і поздовжнього подавання стрічки від верстата – 300 – 900.

Полірування забезпечує шорсткість поверхні R_a на рівні 0,32 - 0,05 мкм і точність обробки – IT5 - IT7.

Найнижча шорсткість поверхні R_a 0,08 - 0,025 мкм і найвища точність IT1 - IT3 забезпечується *притиранням* з використанням паст. Така фінішна операція забезпечує герметичність клапанів, плунжерних пар й припасування деталей одна до одної.

1.4. Усування пошкоджень і дефектів деталей встановлюванням додаткового елемента

Усування пошкоджень і дефектів деталей встановленням додаткових деталей застосовують у випадку відсутності ремонтного розміру, технічного способу відновлювання (посадкові поверхні під корінні шийки розподільчих валів) та економічної недоцільності (верхня головка шатуна).

Зазвичай зношені отвори деталей під втулки відновлюють способами розточування, розсвердлювання і розгорткування, або лише розсвердлювання (наприклад, під час відновлювання різей).

Для додаткових деталей (втулок) матеріал обирають таким же, як і для відновлюваних деталей. Виключенням є чавунні деталі, для відновлення посадкових поверхонь яких допускається виготовлення втулок як із чавуна, так і зі сталі.

Характеристики робочих поверхонь втулок щодо твердості і геометричних параметрів повинні збігатись з аналогічними параметрами поверхонь відновлюваних деталей. Додаткові деталі (втулки) повинні піддаватись термічному оброблюванню.

Нерухомість додаткової деталі найчастіше досягається завдяки посадкам із натягом. У випадку призначення перехідних посадок можуть бути застосовані шпильки, стопорні гвинт, кріплення приварюванням за окремими точками або за контуром чи торцем. Найчастіше за відновлення різьбових отворів під час встановлення втулки як додаткове кріплення застосовують стопорний гвинт.

1.4.1. Застосування згортних розрізних втулок з розкочуванням

Метою розкочування є підвищення міцності посадки втулки в корпусі, що забезпечується повним затіканням металу в заглиблення, яке утворюється на поверхні отвору корпусу. Розкочування призводить до підвищення щільності стику, досягнення номінального розміру посадкового отвору, зменшення шорсткості

поверхні втулки. Також спостерігається пластичне деформування як самої оброблюваної поверхні, так і підповерхневого шару металу.

Тепер розроблені перспективні способи розкочування розрізних втулок за відновлення посадкових отворів в корпусних деталях. Так, науковці ГОСНИТИ запропонували спосіб відновлення посадкових отворів в корпусних деталях вклеюванням згортних втулок з подальшим розкочуванням. Спеціалісти ВВПВІД запропонували спосіб відновлення отворів корпусних деталей розкочування згортних втулок за нарізання спеціальних гвинтових канавок у отворі. Водночас даний спосіб передбачає здійснення розкочування із одночасним забезпеченням гарантованого зазору у стику розрізного кільця.

В зоні контакту із деформованими роликками під час розкочування спостерігається пластичне деформування металу, яке супроводжується згладжуванням початкових шорсткостей внутрішньої поверхні і одночасно механічним згладжуванням шорсткостей зовнішньої поверхні втулки і отвору.

Факторами, що визначають форму і висоту нерівностей поверхонь деталей, отриманих під час розкочування, є геометричні форми, фізико-механічні властивості матеріалу деталей, характеристики напруженого стану металу в зоні контакту, траєкторії руху деформувальних роликів, рельєф і спосіб утворення вихідних нерівностей.

Розкотник налагоджують таким чином, щоби його розмір не перевищував діаметр отвору на величину натягу. Передбачений налагоджуванням натяг викликає пластичні і пружні поверхневі і об'ємні деформації стінок корпусу.

Утворення з'єднання типу втулка-корпус є процесом, який реалізовується завдяки раціональному пластичному деформуванню втулки. Він складається з фази пластичного і пружного деформування.

Фаза пластичного деформування – за розкочування стінок отвору відбувається пластичне деформування і збільшення натягу.

Фаза пружного деформування – після проходження розкотника відбувається стикування втулки і корпусу, що збігається із формуванням залишкових раціональних і тангенціальних напруг на поверхні контакту сполучених деталей.

Технологічний процес відновлення посадкових отворів, відповідно до технології, розробленої ВНПО „Ремдеталь”, проводить в такій послідовності:

Миття. Очищення.

Дефектування.

Розточування посадкових отворів із шорсткістю Rz 10 - 20.

Знімання західних фасок в отворах 0,5 x 45.

Виготовлення згортних втулок-кілець із сталеві стрічки.

Нарізання на посадковій поверхні різі із кроком 2 - 2,5 мм і глибиною 0,2 мм

Встановлення згортних втулок у отвір.

Розкочування втулок до номінальних розмірів.

Розкочуванню до номінального розміру без подальшого розточування отвору підлягають втулки діаметром до 150 мм. Отвори під втулку необхідно розточувати з урахуванням товщини стрічки та припуску на розкочування втулки після завершення процесу. Залежно від діаметра втулки припуск на розточування обирають з інтервалу 0,1 - 0,3 мм, а товщину стрічки – 0,8 - 1,7. Діаметр отвору для установки згортної втулки без наступного розточування до номінального розміру визначають за формулою:

$$d=d+2h, \quad (1.1)$$

де d – діаметр номінального отвору;

h – товщина стрічки

Сутність поверхневого пластичного деформування полягає в тому, що під дією деформуючого елемента виступаючі мікронерівності зминаються заповнюючи впадини мікропрофілю обробленої поверхні (поверхнєве пластичне деформування можливо отримати шорсткість до R_a 0,40 мкм, одночасно при цьому підвищується твердість і міцність верхнього шару метала.

Режими обробки: натяг, припуск, подача, число проходів. Для різних матеріалів і їх етапу натяг різних. Наприклад, для сталі 45 і 30 натяг вибирають в межах 0,1 - 0,2 мм, для чавуна СЧ 18 - 0,1 - 0,15 мм. Припуск визначають в залежності від вихідної шорсткості. При більшій висоті шоркостей назначають більший припуск. Його приймають рівним висоті шорсткості як при деформуванні

нерівності згладжуються, орієнтовно, наполовину. При вихідній шорсткості R_z 10, припуск приймають 0,025 - 0,055 мм.

Подача залежить від вихідної необхідної шорсткості, числа роликів і проходів. Із зменшенням необхідної шорсткості R_a 1,25, 0,63, 0,32 і 0,16 мкм подачу відповідно приймають для сталі 45 -0,2; 0,12; 0,06 , для чавуна СЧ15-0,35 - 0,28 мм/об. При обкатуванні отворів багатороликовими розкотниками для сталей 45 і 40 Х подачу приймають в межах 0,4 - 0,9 мм/об., для чавуну 0,5 - 1,0 мм/об.

Для обробки глухих і наскрізних отворів застосовують розкатник універсальний роликовий.

Універсальний роликовий розкотник має чотири змінних ролика, профільний радіус яких складає 5, 6, 8, 10 мм. Радіальний тиск на ролик – 3 кН. Накатник універсальний кульковий має дві змінні головки, діаметр деформуючих кульок 5, 7, 10 мм. Радіальний тиск на кульку до 2,0 кН.

Для розкотування отворів діаметром до 100 мм можливо застосовувати розкотники по ОСТ1.51074-73, ОСТ 1,51023-73, ОСТ1.51024-73, ОСТ 1.51025-73, ОСТ1.51026-73.

Згортні втулки виготовляють із сталевोї холоднокатаної стрічки, матеріалом якої можуть бути вуглецеві конструкційні сталі 35, 40, 50, 55, ГОСТ 2284-83.

Після встановлення втулок отвори розкочують за частоти обертання розкотників від 60 до 300 об/хв, подавання – від 0,1 до 0,3 мм/об. Такий спосіб забезпечує підвищення твердості поверхні сталевої втулки на 10 - 15%, стійкості до зношування посадкового отвору, збільшує площу дійсного контакту із зовнішньою обоймою підшипника, а головне – повністю відновлює ресурс і точність відновлених деталей до рівня нових.

1.5. Ремонтування корпусних деталей фігурними вставками й стяжками

Тріщини у корпусних деталях можна ремонтувати застосуванням *фігурних вставок*. Згаданим способом відновлюють як міцність, так і герметичність деталі. Ущільнювальні й стягувальні фігурні вставки, які застосовують за ремонтування тріщин, виконують з Ст. 3 або сталі 20.

Така технологія ремонтування передбачає формування в тілі деталі спеціального паза з подальшим запресуванням в нього заздалегідь виготовлених фігурних вставок. Основними деталями оснащення, які визначають якість роботи, є фігурна вставка й кондуктор для свердління паза.

Процес ремонтування тріщин ущільнювальними фігурними вставками (рис. 1.1, *a* і *б*) є наступним. Тріщини очищують від оливи та бруду. Межі тріщини, їх конфігурацію виділяють крейдою після визначення магнітним дефектоскопом або за використання іншого способу. На віддалі 4 - 5 мм від початку тріщини попередньо накернивши просвердлюють на глибину 3,5 мм отвір діаметром 4, 6 мм. Такі ж отвори виконують як за всієї довжини тріщини, так і упоперек через кожні п'ять отворів (див. рис. 1.1, *є*). Виконання цих операцій може здійснюватись на свердлильному верстаті або із застосуванням електродріля та спеціального кондуктора. Отримані свердліннями отвори очищують методом продування стисненим повітрям, а поверхні фігурних вставок і пазів піддіють знежирюванню технічним ацетоном. Спочатку поперечні, а потім поздовжні фігурні вставки встановлюють, користуючись молотком і бородком, попередньо змастивши їх торці й поверхні клеєм на основі епоксидних смол (рис. 1.1). Після усунення тріщин в такий спосіб відновлена поверхня вирівнюється до співпадання з поверхнею деталі способом зачищування. За потреби деталь може бути перевірена на герметичність.

За ремонтування фігурними вставками тріщин товстостінних корпусних деталей бажане їх встановлення передбачає застосування 2 – 3 шарів з розмірами 4 - 8 мм.

Спосіб ремонтування тріщин із застосуванням стягувальних фігурних вставок (див. рис. 1.1 – *в*, *г*, *д*, *є*) є подібним до ремонтування тріщин із застосуванням ущільнювальних вставок. Прийнятним є поперечне відносно тріщини розташування фігурного паза під стягувальну вставку. Насамперед на глибину 10 мм просвердлюють по три отвори з одного й іншого боку тріщини. Дану операцію виконують кондуктором з подальшим видаленням перемичок між отворами за допомогою пробійника. Потім у сформований паз запресовують знежирену та змазану епоксидним клеєм фігурну вставку. Різниця розмірів кроку між осями фігурної вставки і фігурного паза забезпечує ефект стягування тріщини.

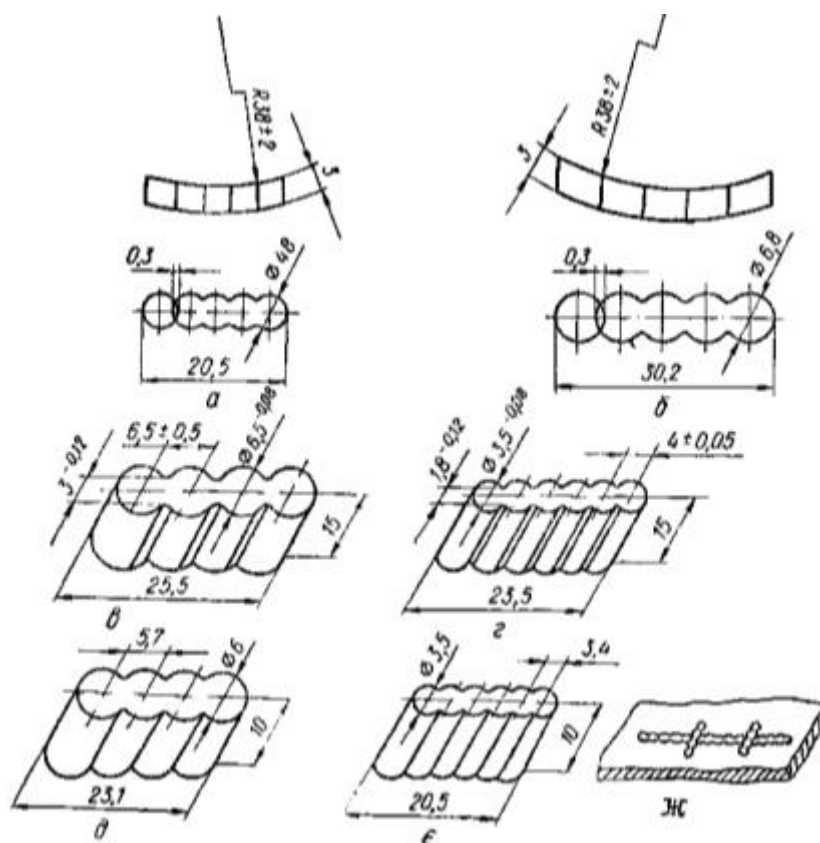


Рис. 1.1. Стяжки і вставки для ремонтування корпусних деталей із тріщинами: а, б – ущільнювальні; в, г, д, е – стягувальні; ж – схема свердління отворів під вставки

Такий спосіб ремонтування є рекомендованим для усування тріщин у головках циліндрів (між клапанним гніздом і гніздом під камеру згорання, у перемичках між клапанними гніздами) та у верхніх перегородках між циліндрами блоків циліндрів.

Порушення герметичності деталей (водяних сорочок блоків циліндрів, задніх мостів, корпусів коробок передач) внаслідок формування тріщин може бути усуненим способом *штифтуванням*. Тріщину забивають нарізними штифтами за всією її довжиною. Насамперед штифти вставляють у засвердлені кінці тріщини, з нарізаною в них нарізкою. Потім решту штифтів, виготовлених з бронзи або червоної міді, встановлюють у решту отворів за визначеною послідовністю (див. на рис. 1.2). Водночас штифти повинні перекриватись сусідніми приблизно до 1/3 діаметра.

Верхні кінці штифтів підлягають розкарбовуванню, зачищенню та за необхідності пропаюванню м'яким припоєм. Такий спосіб є надто трудомістким і потребує залучення слюсарів з високою кваліфікацією.

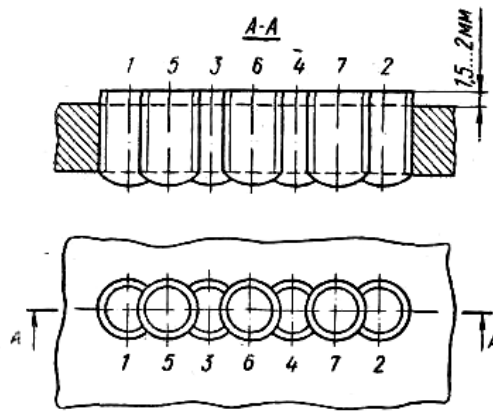


Рис. 1.2. Схема усунення тріщин штифтуванням

1.6. Ремонтнування різьбових з'єднань

Відновлення зношених різей в деталях здійснюють двома методами: без зміни початкового розміру різі (заміна частини деталі, заварювання, наплавлення, встановлення додаткових деталей) та із зміною початкового розміру різі (спосіб ремонтних розмірів). Перший метод застосовуються частіше, оскільки при цьому не порушується взаємозамінність і не зменшується міцність з'єднання.

Існує декілька способів відновлювання *зовнішньої різби*. Калібрування за допомогою різьбонарізувального у випадку зривання менш як двох ниток різби.

За ремонтування різей на валах можливе наплавлювання металу на поверхню різними способами з подальшим виконанням механічного оброблювання і нарізування різі з нормальним розміром або ж можна відразу замінити зношену нарізну частину деталі. Основним недоліком способу з використанням наплавлювання є ймовірність пропалювання тонкостінних деталей та збільшення втомленої міцності деталі на 10 - 30%.

Зношування головок і різей болтів, яке виявляється у зриванні більш як двох ниток різі, є підставою до їх вибраковування.

До основних дефектів *різьбових отворів* відносять викришування окремих витків, зношування за внутрішнім і середнім діаметрами різі, зминання, зривання та забивання різей. Способами ремонтування є встановлення спіральних вставок і викруток, заварювання з подальшим свердлінням і нарізанням різей номінального розміру, нарізання на новому місці нарізного отвору з більшим діаметром. Останній

метод характеризується рядом недоліків: велика зона термічного впливу, що спричиняє зміну структури основного металу, утворення тріщин і жолоблення, відбілення чавуну, зниження міцності різі майже удвічі.

Використання викруток (рис. 1.3) передбачає їх розміщення в отвір деталі за попереднього нарізання в них різей. Запобігання викручуванню здійснюється застосуванням стопорних шпильок або приклеюванням компаундом.

Розмір зовнішнього діаметра вкрутки можна визначити із залежності:

$$D = d\sqrt{\sigma_1 / \sigma_2}, \quad (2.2)$$

де d – зовнішній діаметр різьби болта;

σ_1, σ_2 – межа міцності відповідно матеріалу болта і корпусу.

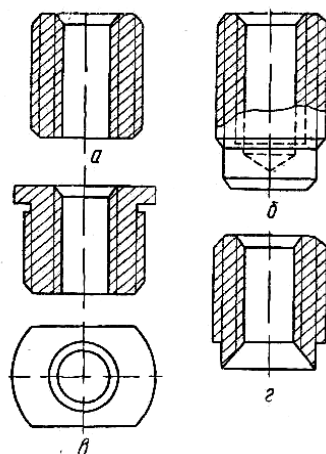


Рис. 1.3. Види викруток: *a* – пряма відкрита; *б* – пряма закрита; *в* – пряма відкрита з буртиком під ключ; *г* – східчаста під розвальцьовування нижнього кінця

Висота вкрутки має дорівнювати товщині стінки корпусу, але не менш як $3d$.

Описаний спосіб відновлення різей має ряд недоліків: складність; неможливість застосування у випадку, коли конструкція деталі не дозволяє збільшити отвір; висока трудомісткість.

Високої якості різьбового з'єднання можна досягти, застосовуючи спіральні вставки (рис. 1.4), яка виготовляється у вигляді спіралі з нержавіючого дроту Х18Н10Т з ромбічним перерізом.

Виробники пропонують комплект інструменту для ремонтування спіральними вставками різевих отворів, який складається з набору спіральних вставок, свердел,

ключів для вкручування спіральних вставок, борідок для видалення технологічного повідка, мітчиків, тригранних ключів для викручування бракованих вставок.

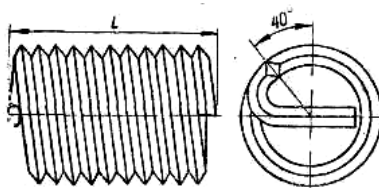


Рис. 1.4. Різьбова спіральна вставка

Технологією встановлення спіральної вставки передбачається виконання наступних операцій: свердлування отвору під потрібний розмір; нарізування різі тако ж кроку; встановлення спіральної вставки необхідного розміру технологічним повідком донизу в монтажний інструмент; закручування її у підготовлений отвір; видалення спеціальним бородком технологічного повідка із вставки. Після вкручування спіральна вставка має зануритись у деталь на глибину 0,5 - 1 мм.

Можливість відновлення нарізних отворів у тонкостінних деталях, значне підвищення міцності з'єднання завдяки збільшенню діаметра й рівномірному розподіленню навантаження за витками визначає переваги зазначеного способу.

Для окремих деталей, які характеризуються можливістю розміщення нарізних отворів без порушення взаємозамінності (маточини, фланці, барабани тощо) можна застосовувати свердління отворів на новому місці з подальшим нарізанням різі.

Зламани шпильки і болти видаляють приварюванням до них пластин або гайок та електроерозійним оброблюванням. За розміщення зламаного кінця болта чи шпильки нижче рівня поверхні деталі їх видалення відбувається електроерозійним оброблюванням буром. Занутивши деталь у ванну з гасом, зламаний кінець шпильки або болта руйнують мідним електродом. Електроерозію застосовують у випадку, коли діаметр зламаної шпильки великий. У ній прошивають отвір квадратного перерізу на глибину 10 -15 мм і викручують пробковим ключем.

Зламану шпильку викручують буром (рис. 1.5 а), забитим у попередньо просвердлений у шпильці отвір. Буром виступає загартований конічний стрижень з головкою під вороток або ключ з гострими прямими зубами. з тілом Викручування болта або шпильки забезпечується їх щільним зчепленням із забитим буром. Різь калібрується відповідним мітчиком уже після видалення зламаної частини шпильки.

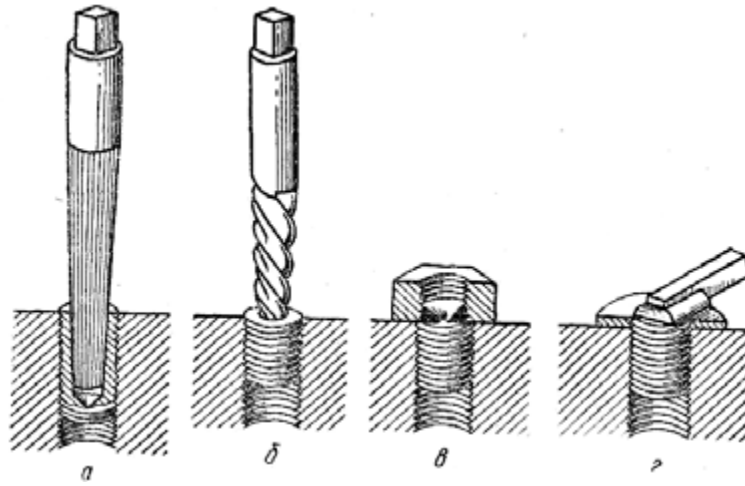


Рис. 1.5. Інструменти і способи викручування зламаних шпильок і болтів: *а* – бур; *б* – екстрактор; *в* – приварювання гайки; *г* – приварювання дроту

Екстрактор (рис. 1.5, *б*) являє собою конічний стрижень, з нарізаними на ньому п'ятьма лівими спіральними канавками. У центрі руйнування просвердлюють отвір на всю довжину зламу, в який забивають екстрактор з подальшим викручуванням уламка із нарізного отвору. У разі, коли зламаний кінець шпильки або болта знаходиться вище або на рівні поверхні застосовують спосіб приварювання дротів і гайок. За розміщення на рівні поверхні деталі (рис. 1.5, *в*) здійснюють накладання та приварювання гайки меншого розміру. Накладання шайби і приварювання сталюого дроту, за який викручують уламок, застосовують, коли зламаний кінець болта чи шпильки виступає над поверхнею деталей (рис. 1.5, *г*).

1.7. Усунення пошкоджень деталей контактним приварюванням сталеві стрічки

Контактне приварювання металеві стрічки - один із перспективних в наш час способів відновлення зношених поверхонь деталей.

Сутність процесу відновлення електроконтактним зварюванням полягає в приварюванні потужними імпульсами зварювального струму до поверхні деталей сталюї стрічки, порошку або дроту. У звареній точці, отриманою від дії імпульсу

струму, проходить розплавлення металів стрічки і деталі в зоні контакту, Метал стрічки в цьому випадку розплавленої не по всій товщині, а лише в тонкому поверхневому шарі в місці контакту деталі і стрічки в результаті виділення великої кількості тепла. Відновлювальний шар приварюють до всієї зношеної поверхні регульованими імпульсами струму, перекривними точками, розміщуються по гвинтовій лінії. Перекриття точок як вздовж рядків, так і між рядками досягається обертанням деталі із швидкістю, пропорційною частоті імпульсів і повздовжньому переміщенню деталі.

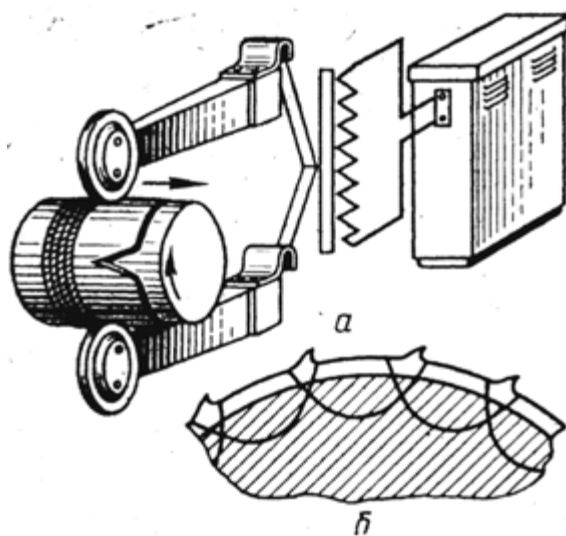


Рис. 1.6. Схема електроконтактного напикання стрічки: *a* – джерело імпульсів; *в* – перекриття імпульсів

Для зменшення нагріву деталі і покращенням привареного шару в зону зварювання подають охолоджувальну рідину.

Спосіб електроконтактного приварювання металічного шару знайшов застосування для відновлення посадкових поверхонь валів, зовнішніх циліндричних поверхонь деталей, а також отворів в чавунних і сталевих деталей типу стаканів підшипників, а також для відновлення різьбових ділянок валів, штуцерів і інших деталей.

Для підвищення стійкості до зношення відновлених деталей перспективними являється приварювання до зношених поверхонь твердих сплавів. Існує декілька способів подачі твердого сплаву у зону зварювання: т самотічна подача порошку із бункера до електродів, приклеювання твердого шару до сталевій стрічки. При

зварюванні тверді частинки під дією тиску, прикладеного до електродів, втискуються в поверхню стрічки і деталі, на поверхні утворюється армований зміцнений шар, який має високу стійкість до зносу.

Для забезпечення якісного відновлення в сучасних електроконтактних установках застосовуються різні зварювальні цикли:

- зварювання змінним струмом промислової частоти;
- зварювання при розряді батареї конденсаторів, так зване конденсаторне зварювання;
- зварювання одним півперіодом струму промислової частоти;
- зварювання послідовними імпульсами рівної величини (імпульсне зварювання);
- зварювання сходинковим циклом шляхом подачі серії імпульсів, що називають підігрівними (значення величини струму – 50% від зварювального) і одним зварювальним імпульсом великої величини;
- зварювання з висхідною амплітудою змінного струму;
- зварювання модульованим циклом (нагрівання – зварювання – охолодження). Нагрівання виконують модульованими наростальними імпульсами, зварювання одним періодом струму промислової частоти, охолодження при поступовому спаді струму.

Апарати електроконтактного зварювання, що використовуються в промисловості, відрізняються не тільки схемою зварювального циклу, але і потужністю зварювання (конденсаторне зварювання, тиратронне і ігнітронне тощо).

В залежності від форми і конструкції шва електроконтактне зварювання може бути чотирьох видів: точкове, роликове, стикове і поверхневе. При точковому зварюванні шов виконується у вигляді послідовних зварних точок, при роликовому – шов є суцільною лінією зварних точок, при стиковому – шов виконується у вигляді однієї зварної точки в стику двох дротів або прутиків. Сутність поверхневого зварювання, запропонованого Ігнатьєвим, полягає в тому, що струм пропускається паралельно поверхні деталей, що з'єднуються. Приварювання порошкових матеріалів, твердих сплавів доцільна для відновлення і зміцнення деталей, які швидко зношуються, таких як, осі качання, цапфи, осі сателітів.

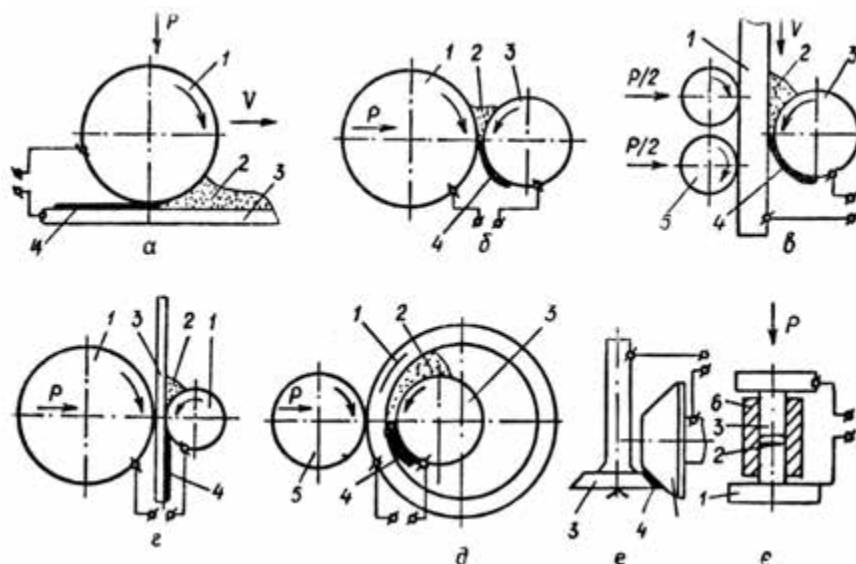


Рис. 1.7. Схеми електроконтактного напівання металевих порошків: а, б, в, г, д, е, є - варіанти; 1 – контактний ролик електрод; 2 – металічний порошок; 3 – деталь; 4 – напечений шар порошку; 5 – натискний ролик; 6 – форма

При контактному зварюванні нагрівання проходить на невелику глибину, при збереженні незмінності хімічного складу металу, оскільки зварювання завершується в твердій фазі. Крім того, при електроконтактному зварюванні не потрібен флюс і газу для захисту шкідливої дії атмосфери.

Матеріали. Великий вплив на механічні властивості покриттів (міцність, щеплення, твердість) має матеріал, який застосовують для відновлення деталей. Цей матеріал слід підбирати із врахуванням умов роботи деталі та конструктивних особливостей спряження: призначення деталі.

Твердість привареного шару значною мірою залежить від міцності вуглецю в матеріалі стрічки. Особливу високу твердість забезпечують хромисті та марганцевості стрічки. Оптимальним рахують той матеріал, який забезпечує твердість привареного шару відповідно до вимог технічної документації на деталь. При виборі матеріалу стрічки потрібно користуватися наступними даними:

- Сталь 20 – HRC 30-45;
- Сталь 40 – HRC 40-45;
- Сталь 45 – HRC 45-50;
- Сталь 55 – HRC 50-55;
- Сталь 40X – HRC 55-60;
- Сталь 65 Г – HRC 60-65.

Для відновлення різьбових ділянок застосовують дрiт iз маловуглецевих марок сталi. При відновленнi деталей, якi працюють в абразивному середовищi, використовують твердi сплави карбiдно-боридних з'єднань хрому чи титану, а в рядi випадкiв твердi сплави ВК - 6 чи ВК - 8 iз грануляцiєю 250 - 400 мкм.

Для виготовлення електродiв використовують спецiальнi мiднi сплави – бронзу БрНБТ, як найбільш унiверсальний – бронзу БрХКу -0,5 - 0,3. Для цих цiлей можуть бути використанi хромова бронза БрХ, хромоцирконiєва бронза БрХЦр – 0,6 - 0,5 сплав Мц4, i мiдь М1.

Обладнання. Для використання електроконтактного приварювання металiчного покриття ВНПО „Ремдеталь” розроблено спецiальне обладнання: установка ОКС-011-1-02 М призначена для відновлення зношених посадкових мiсць пiд пiдшипники деталей типу „вал”. Установка працює у напiвавтоматичному режимi i забезпечена унiфікованими вузлами: приводом подач, обертачем, супортом iз зварювальною голівкою, переривачем типу ПСЛ, пневматичного пiнолю, пультом управлiння.

Установка пристосована для використання сталльної стрiчки, дроту, порошокiв, як присадкових матерiалiв. За її допомогою можливо відновлювати деталi дiаметром вiд 20 до 150 мм i довжиною до 2000 мм. За один прохiд може бути приварений шар товщиною 0,3 - 1,5 мм. Частотою обертання шпинделя – 0,15 - 15 об/хв, швидкiсть перемiщення голівки 9 - 1800 мм/хв, максимальний струм зварювання 14 кА. Продуктивнiсть 60 - 80 см/хв.

Застосовують також установки: ОКС-011-1-10 – вiдновлення зношених шийок валiв i осей, а також цилiндричних отворiв деталей. Її монтують на базi токарного верстата. Забезпечує possibilitь вiдновити деталi iз зовнiшнiм дiаметром 10 - 200 мм, довжиною до 1000 мм, мiнiмальним дiаметром отвору 70 мм, максимальною глибиною – 150 мм, товщина стрiчки – 0,1 - 0,5 мм.

ОКС-011-1-11 призначена для вiдновлення зношених цилiндричних поверхонь корпусних деталей. Конструктивна особливiсть її застосування обертальних зварювальних клiщiв, електроднi роликi яких пiд тиском обкатують внутрiшню поверхню нерухомої деталi, що дозволяє зменшити габаритнi розмiри установки.

Використовуючи її можливо відновлювати отвори діаметром 80 - 300 мм, товщиною шару 0,3 - 2 мм, максимальний струм – до 14 кА, продуктивність – до 200 см²/хв.

ОКС-011-1-05 призначена для відновлення електроконтактним приварюванням дроту до зношених різьбових ділянок валів. Конструктивна особливість – застосування двотрансформаторної схеми джерела живлення. Продуктивність установки при відновленні різьби – 30- 50 см/хв, діаметр присадкового дроту до 2 мм, частотою обертання шпинделя – 0,75 - 75 об/хв, швидкість переміщення головки – 9 - 1800 мм/хв. Цією установкою можливо відновлювати зношені деталі діаметром 14 - 60 мм і довжиною до 1000 мм.

Режими зварювання. Режим приварювання забезпечують регулюванням електричних і механічних параметрів.

Для електричних параметрів відносять: силу зварювального струму, довготривалість зварювального циклу. Зварювальний цикл складається із операцій: стискування електродів, проходження імпульсу струму, паузи, розтискування по завершенні процесу електродів.

При малій силі струму зварювання не здійснюється у точці контакту, не проходить розплавлення поверхневих зон і виникнення молекулярних контактів у з'єднанні.

Збільшення сили струму до номінального і довготривалості зварювального циклу стабілізує процес зварювання. При перевищенні цих параметрів до значень, які перевищують номінальні, появляються виплески металу із зони контакту і на поверхні деталі утворюються пори і тріщини.

До механічних параметрів відносять: частоту обертання деталі, подачу електродів, зусилля стискування електродів. Подача електродів, частота обертання деталі і частота імпульсів – дуже важливі параметри, які дозволяють забезпечити встановлення 6 - 7 зварювальних точок на 1 см довжини зварного шва. Це визначають методом підборання частоти імпульсів еталонних взірців за постійної швидкості обертання. Подача електродів впливає на перекриття зварювальних точок. Недостатнє перекриття погіршує зварюваність присадкового шару із матеріалом деталі. Підвищене перекриття збільшує зону відпуску, що приводить до зменшення середньої твердості привареного шару.

При недостатньому зусиллі притискування електродів на поверхні стрічки утворюються ерозійні руйнування через зменшення величини контакту і зростання контактного опору. Режими приварювання на деталі типу „вал”:

- сила зварювального струму: 10 - 12,5 кА;
- довготривалість зварювального імпульсу: 0,04- 0,08;
- довготривалість паузи 0,1 - 0,12;
- швидкість зварювання м/хв 0,7 - 1,2;
- подача електродів мм/об 3 - 4.
- зусилля притискання електродів 1,3 - 1,6 кН;
- ширина робочої частини електродів, 4 мм
- витрата охолоджувальної рідини, л/хв 1,5 - 2,0.

Механічні параметри режиму складають: подача каретки при \varnothing 15 - 40 мм – 3 - 3,5 мм/об.; при \varnothing 50 - 130 мм – 3,5 - 4 мм/об., час зварювання при \varnothing до 80 мм. – 0,06 с., пауза – 0,12 с., при \varnothing понад 80 мм, відповідно 0,08 і 0,1 с.; витрата охолоджувальної рідини 1,6 л/ хв. Зусилля стискання електродів 2000 - 3000 Н.

Режими електроконтактного приварювання стрічки наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1. Режими електроконтактного приварювання сталюї стрічки

Діаметр деталі, мм	Частота обертання шпинделя, n , об/хв	Сила струму, $I_{зв.}$, А.	Діаметр деталі, мм	Частота обертання шпинделя, n , об/хв	Сила струму, $I_{зв.}$, А.
15	8-10	4-5	60	3-5	6-6.5
20	6-8	4-5	70	3-4	6.5-7
30	5-7	5-5.5	80	3-3.5	7-7.2
40	5-6	5.5-6	100	2-3	7.2-7.5
50	4-5	5.8-6.2	130	1.5-2	7.5-8.5

Приварювання стрічки виконується за два прийоми: спочатку стрічка „прихоплюється” в одному місці, а потім приварюється остаточно. Вмикають обертання деталі, подають стрічку (або дріт) із механізму подачі (ролика з дротом) під нижній електрод. В момент дотику електрода і стрічки (дроту) включають кнопку „зварювання” і „прихоплюють” стрічку коротким швом до поверхні деталі без подачі зварювальних кліщів. Механічна обробка деталей після

електроконтактного приварювання стрічки виконується шліфувальними кругами з електрокорунду білого.

Технологічний процес відновлення деталей електроконтактним приварюванням складається із наступних операцій:

Підготовлюють деталь для видалення слідів зношування, а також наклепаного шару металу як правило виконується шліфуванням, припуск на механічну обробку 0,1 - 0,2 мм.

Приварювання необхідної якості матеріалу відповідно до вимог технічної документації. Механічної обробки під номінальний розмір, як правило шліфування. Контроль якості відновленої поверхні, по якій не допускаються тріщини, пори, раковини й розтріскування металу.

До недоліків способу слід віднести, досить високу трудомісткість виконання підготовчих операцій, наведення внутрішніх напруг в тілі відновленої деталі й пов'язану із цим зниження стійкості деталей до стомливого навантаження.

Попри ці недоліки електроконтактне приварювання металічного покриття до поверхонь, які відновлюють, успішно застосовується для відновлення і зміцнення шийок валів, отворів в корпусних деталях, плоских і складних форм різальних органів сільськогосподарських машин і інших деталей.

Оскільки ресурс відновленої деталі повинен забезпечувати нормативний пробіг того агрегату, в конструкцію якого входить деталь (не менш як 80% від норми для нових тракторів, автомобілів, комбайнів і агрегатів), чисельні значення коефіцієнта довговічності деталі не мають бути нижче 0,8.

1.8. Способи, обладнання, оснащення за відновлювання деталей пластичним деформуванням

Сутність процесу відновлювання деталей пластичною деформацією.

Відновлювання деталей за допомогою пластичної деформації базується на пластичності і здатності металів і сплавів змінювати під дією певного навантаження свою геометричну форму без порушення цілісності.

Процес деформування металу при відновленні деталей заснований на тих же законах, на яких базується обробка металів тиском при виготовленні заготовин. Різниця полягає лише в тому, що при відновленні обробляється не заготівина, а готова деталь з конкретними розмірами і формою.

Пластичною деформацією відновлення деталі, виготовлені з матеріалів, що мають пластичність в холодному або нагрітому стані. Деталі, виготовлені з непластичних матеріалів, а також з малим запасом міцності даними способом не відновлюються.

Існують два різновиди обробки деталей тиском: холодна і гаряча. Пластична (залишкова) деформація під час холодної обробки відбувається в результаті внутрішньокристалічних зрушень металу, які вимагають прикладення великих зовнішніх зусиль. При цьому в деформованих шарах металу проходить зміна фізико-механічних властивостей: пластичність металу знижується, межа плинності, межа міцності і твердість підвищується. Такі зміни механічних властивостей і структури металу називають наклепом (нагартуванням).

Пластична деформація здійснюється в результаті ковзання і двійникування. Механізм руху в кристалі безперервно нових дислокацій, які утворюються в процесі деформації, називають джерелом Франка-Ріда. Двійникування – переорієнтування частини кристала відносно площини двійникування в симетричне положення щодо частини кристала.

Оскільки критичне напруження зсуву при деформації двійникування вище, ніж при ковзанні, то двійники виникають тільки тоді, коли ковзання утруднене: у випадку деформування при низькій температурі або при високих швидкостях деформації. При ковзанні одна частина кристала зміщується відносно іншої під дією дотичних напружень за напрямком з найбільшою лінійною густиною атомів і по площинах з найбільшою міжплощинною віддаллю. Причому, здатність металу до пластичної деформації зростає зі збільшенням числа можливих площин і напрямків ковзання.

Гаряча обробка тиском, як вказувалося вище, проводиться при температурах вище температури рекристалізації. Нагрів деталей до цих температур приводить до виникнення окалини, знеуглецюванню поверхневого шару, коробленню деталей.

Тому для зниження впливу температури прагнуть, щоб вона була мінімальною, але достатньою для деформації деталі на необхідний розмір. Нагрівання деталей до зазначених температур доцільне тільки для значних пластичних деформацій. Для вуглецевих сталей рекомендується інтервал температур від 600 до 1000°C. Нагрівання до температури 600°C не збільшує, а знижує пластичність деталей, а нагрів вище температури 1000°C приводить до інтенсивного утворення.

Підвищення швидкості деформації в загальному випадку веде до зниження пластичності і збільшення опору деформування. В умовах холодного деформування вплив швидкості деформування незначний в той час, як в умовах гарячого деформування він досить відчутний.

Зміцнення металу в результаті пластичної деформації називається наклепуванням, який підвищує міцність і знижує пластичність. У зв'язку з тим що пластична деформація приводить метал в структурно нестійкий стан, нагрів сприяє самовільно протіканню процесів, які повертають метал в більш стійкий структурний стан. Таким чином, процес зміни структури в результаті нагрівання металу після холодної пластичної деформації називається рекристалізацією. Мінімальна температура рекристалізації складає приблизно 0,4 від абсолютної температури плавлення. Для розрахунку цієї температури температура плавлення металу збільшується на 0,4. При збільшенні деформації температура рекристалізації зменшується. Якщо температура пластичної деформації вище температури рекристалізації, то зміцнення металу відсутнє.

Обробка металів тиском за нормальної температури нижче від температури рекристалізації називається холодною обробкою, а за більш високої температурі – гарячою обробкою. Тут обробку починають за нормальної температури, значно вища температури рекристалізації. Цим уникають появи наклепування та механізму виникнення тріщин.

На властивості металу впливають залишкові напруги, які виникають внаслідок неоднакового деформування різних частин деталі. Вони спричинюються як неоднорідністю структури металу, так навіть і різним нагріванням і охолодженням різномірних частин деталі. Залишкові напруги можуть сумуватися напругами, викликаними зовнішніми силами, сприятливо чи несприятливо, збільшуючи чи

зменшуючи міцність деталі. Під впливом залишкових напруг деталей може пожелобитися, зруйнуватися тощо. Для усунення напруг деталей піддають відпалу чи нормалізації. У цьому температура вище температури рекристалізації.

Пластична деформація при температурах вище температури рекристалізації відбувається також з утворенням перетворень структури, але метал деталі не зміцнюється в результаті протікання процесу рекристалізації при таких температурах. Таким чином, холодною обробкою називається обробка тиском (пластична деформація) при температурі нижче процесу рекристалізації, яка викликає зміцнення (наклепування). Гарячою обробкою називається обробка тиском (пластична деформація) при температурі вище температури рекристалізації, при якій метал має структуру без слідів зміцнення.

Основними факторами, що визначають процес відновлення вибраваних деталей тиском, являється хімічний склад і структура металу, форма й розміри деталі, розміри і характер її зносу. Враховуючи перераховані фактори, технолог визначає режими і умови деформування деталі за умов отримання заданого комплексу експлуатаційних характеристик.

Відновлення деталей з допомогою пластичних деформацій ґрунтується на їхній властивості змінювати свою геометричну форму й розміри з допомогою перерозподілу металу без руйнації під дією зовнішнього навантаження.

Ремонтування деталей пластичною деформацією – один з найбільш поширених методів, заснований на пластичній деформації зношених деталей із подальшим механічним оброблюванням. Метод використовують для виправлення вм'ятин, погнутості, скручування, змінювання посадкових розмірів зношених поверхонь деталей (зменшення діаметра зношених поверхонь втулок, збільшення діаметра зношених шийок осей, валів), підвищення міцності деталей (дробеструменеве наклепування) та зниження шорсткості механічного оброблювання роликми шийок валів замість їх шліфування. Такий спосіб застосовується також для відновлення початкових властивостей деталей, зміцнення їхніх робочих поверхонь та при заключній чистовій обробці. Деталі відновлюють як у холодному, так і у гарячому стані. У холодному стані зазвичай здійснюють відновлення деталей, виконаних з кольорових металів і сплавів, низьковуглецевих

сталей, а у гарячому – з середньо- і високовуглицевих сталей з температурою нагрівання 0,7 - 0,9 температури сплавлювання. Після поновлення тиском відповідальні деталі піддають термічній обробці.

Властивість металів до пластичної деформації залежить від їх пластичних властивостей, які своєю чергою – від хімічного складу, структури, температури нагріву і швидкості деформування. При цьому зерна змінюють свою форму (витягуються), кристалографічні решітки змінюють свою конфігурацію, твердість і міцність збільшується, а відносне подовження і ударна в'язкість знижується. Із збільшенням деформації, зміцнення росте, при чому подальша деформація зростає далі, і коли стає неможливою - деталь руйнується.

При цьому об'єм деталі залишається постійним, а метал переміщається із її неробочих ділянок на зношені. Зміна структури внаслідок нагріву після холодної пластичної деформації металу називається рекристалізацією. Найменшою температурою рекристалізації (порогом рекристалізації) є температура, коли твердість металу різко знижується, а пластичність підвищується.

Способи відновлення деталей пластичним деформуванням.

В залежності від напрямку дії зовнішніх сил перероподілу металу застосовують такі способи відновлення деталей пластичним деформуванням: правку, осаджування, роздаванн, обжимання, витягування, накатування, поверхневе пластичне деформування, електромеханічне висаджування.

Схеми відновлення деталей пластичним деформуванням приведено на рис. 1.8.

Правка. Застосовують при втраті деталями першопочаткової форми через згинання, скручування і короблення. Правлять колінчаті і розподільчі вали, шатуни, балки мостів, деталі рам.

Правку деталей виконують статичним навантаженням або наклепуванням. Більшість деталей правлять під пресом в холодному стані. Для отримання необхідної залишкової деформації, необхідно прикласти до деталі зусилля, що створює її повну деформацію, в 5 - 7 раз перевищуючу залишкову.

Навантаження прикладають декілька разів упродовж 1,5 - 2 хв для підвищення точності деформації. Для підвищення стабільності геометричної форми і збільшення

міцності при втомі деталь термічно обробляють. Її нагрівають до $t = 400 - 500^{\circ}\text{C}$ і витримують 0,5 - 1 год. Деталі, які були оброблені струмами високої частоти (гартування) до $450 - 500^{\circ}\text{C}$ нагрівати неможливо, їх рекомендують нагрівати до $t = 180 - 200^{\circ}\text{C}$ і витримувати в печі 5 - 6 год.

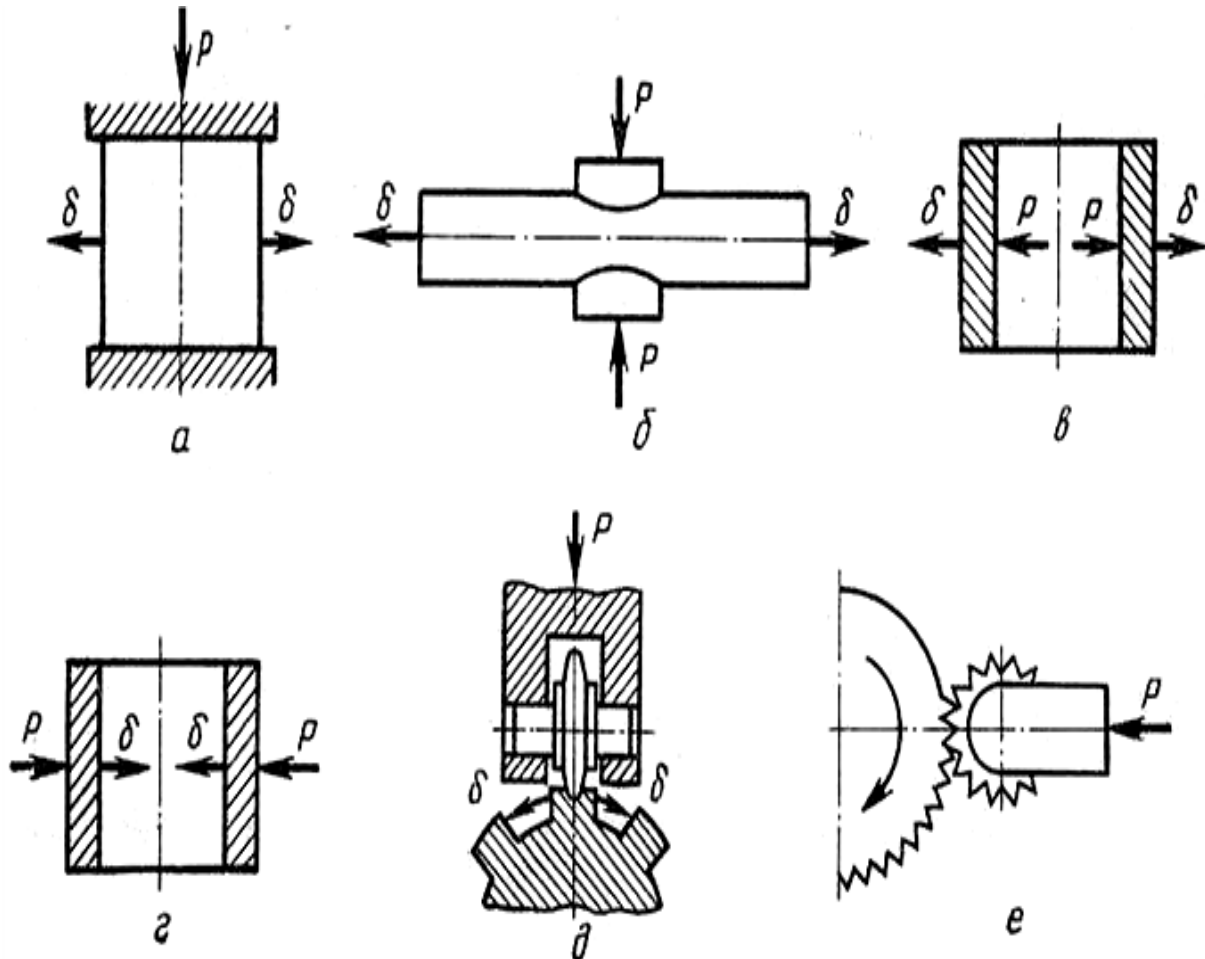


Рис. 1.8. Схеми відновлення деталей пластичним деформуванням: *a* – осаджування; *б* – витягнення; *в* – роздавання; *г* – обтискування; *д* – витискування; *е* – накатування

Сутність правки наклепуванням полягає в тому, що при ударах пневматичним молотком і закругленим бойком або ручним молотком із сферичним бойком по поверхні деталі створюють напруги стискання, які і випрямляють деталь. Розмір ділянок для наклепування і глибину наклепаного шару визначають дослідним шляхом в залежності від величини згинання, форми і розмірів деталі.

Осаджування. Застосовується для зменшення внутрішнього збільшення зовнішнього діаметра порожнистих і суцільних деталей. Площа поперечного січення деталі збільшується, а висота (довжина) зменшується.

Необхідне зусилля (питоме):

$$P=[\sigma_m](1+d/6h), \quad (1.2)$$

де $[\sigma_m]$ – межа текучості матеріала деталі;

d, l – діаметр і довжина, мм.

Осаджування виконують завданням сильних ударів бойком пневматичного кувального молота по деталі в напрямку перпендикулярному до їх робочих поверхонь. Осадкою відновлюють втулки верхньої головки шатунів і шкворнів, вилки карданних валів, штовхачі, гомогенізатори, ступиці ведених дисків щеплення.

Для збільшення площі поперечного січення деталі не по всій довжині, а в її середній або кінцевій частині проводять неповну осадку, яку називають висадкою. Так відновлюють шийки валів і осей. Найбільш часто осадженням відновлюють втулки з кольорових сплавів.

Осадку здійснюють наступним чином: у втулку, яку осаджують, вставляють калібрований палець, діаметр якого на 0,2 мм менше діаметра обробленого отвору втулки. Потім втулку разом з пальцем встановлюють в пристосування для осадки. Тиском P преса до упорів в кільце втулка осаджується, заповнюючи зазор між пальцем і зношеною поверхнею. Після цього її піддають механічній обробці на необхідний розмір. Відновлені осадкою втулки виходять за довжиною на 2 - 3 мм менше номінального розміру, в результаті чого, тиск на втулку в процесі експлуатації збільшується.

Даним способом можна відновлювати втулки різних конструкцій, що мають на поверхні шпонкові канавки або прорізи, бурти, днища, розташовані на одному з кінців деталі. Для збереження первинних отворів, прорізів, виступів в них встановлюють спеціальні вставки за формою і розмірами цих елементів.

Якщо деталь, яка з'єднана із втулкою, має достатню міцність, наприклад верхня головка шатуна, то перед осадкою відновлювану втулку не випресовують. У цьому випадку частина пов'язаної з втулкою деталі виконує роль певної матриці. Відновлювану втулку, розташовану в головці шатуна, знизу і зверху стискають за довжиною спеціальними пуансонами до тих пір, поки не зменшиться її внутрішній

діаметр до необхідних розмірів. Потім втулку розточують або розвертають під відповідний розмір.

Способом осадження можна відновлювати і суцільні деталі, наприклад штовхачі клапанів двигуна (при зносі стрижня), шліцьові ділянки півосей.

Роздавання полягає у збільшенні зовнішніх розмірів порожніх деталей в результаті збільшення їх внутрішніх розмірів. Тиск, необхідний для роздачі деталі розраховують за формулою:

$$P = 1,15\sigma_T \cdot \ln(D/d), \quad (1.3)$$

де D і d – відповідно зовнішній і внутрішній діаметри деталі.

Відновлення роздачею здійснюється в холодному і нагрітому стані деталей. При холодній роздачі відновлювані деталі, які мають хіміко-термічну обробку, попередньо піддають відпалу або високотемпературному відпуску. Роздачу виконують спеціальними сталевими або тврдосплавними прошивками, дорнами, кульками та ін. Після роздачі відновлюють первісну хіміко-термічну і проводять механічну обробку деталей.

На ремонтних підприємствах нашої країни і за кордоном холодною роздачею відновлюють поршневі пальці ДВС, шипи хрестовин карданних шарнірів, труби рульової колонки тощо.

Технологія відновлення поршневих пальців роздачею в холодному стані складається з наступних операцій: сортування на дві групи за внутрішнім діаметром пальців (в кожену групу входять пальці, які відрізняються за розмірами не більше ніж на 0,3 мм); високотемпературного відпуску; роздачі під пресом сферичними прошивкамн або кульками (різниця діаметрів деформуючого інструменту і внутрішніх отворів пальців в межах 0,45 - 0,8 мм); гартування пальців в соляній ванні або струмами високої частоти до твердості HRC 58 на глибину 0,8 мм; контролю розмірів та наявності тріщин і дефектів; механічної обробки пальців (безцентрове шліфування з подальшим суперфінішуванням і поліруванням).

Аналогічна схема технологічного процесу розроблена і для відновлення хрестовин карданних шарнірів холодною роздачею.

Хрестовини після миття і дефектації піддають відпалу в шахтній печі СШЦМ-6.12 / 9-М. Після відпалу здійснюють механічну обробку масляних каналів шипів зенкерами і фрезами на переобладнаній напівавтоматичній установці моделі УВК-1. Механічною обробкою отворів вирішують два завдання: отримання каліброваних масляних каналів одного діаметра, що дозволяє використовувати деформуючий інструмент незмінного діаметра для одного типорозміру хрестовин і, крім того, досягнути концентричності зовнішньої і внутрішньої циліндричних поверхонь шипів хрестовин, що в подальшому забезпечити рівномірність роздачі по довжині.

Безпосередньо роздача здійснюється твердосплавним дорном при достатній подачі мастильно-охолоджувальної рідини в зону деформації. Зусилля для деформування матеріалу шипа не перевищує 110 кН, а час циклу роздачі лежить в межах 45 с. Збільшення зовнішнього діаметра шипів хрестовин після роздачі складає 0,30 - 0,35 мм, при цьому лінійні розміри деталі не змінюються. Установка для роздачі працює в автоматичному режимі і забезпечує відновлення хрестовин карданних шарнірів з діаметром шипів 15 - 45 мм і довжиною 57 - 165 мм.

Після роздачі хрестовини проходять цикл хіміко-термічної обробки – цементацію, гартування і низькотемпературний відпуск. Механічна обробка розданих хрестовин полягає в чорновому і чистовому шліфуванні шипів за зовнішнім діаметром і по торцях.

Холодної роздачею можна відновлювати хрестовини з зносом по зовнішньому діаметру, що не перевищують 0,3 мм. Крім того, не забезпечується відновлення зносу шипів хрестовин по торцях. Дані недоліки процесу холодної роздачі не дозволяють, рекомендувати його для централізованого відновлення таких деталей, як хрестовини карданів.

При гарячій обробці тиском певний вплив на фізико-механічні властивості надає температура нагріву, які залежать від хімічного складу сплаву. При відновлюванні гарячою обробкою тиском (роздачею) такі параметри, як швидкість і температура нагрівання також впливають на якість поверхні деталей.

Температура початку обробки не повинна викликати перепалу або перегріву металу. Необхідно приймати заходи щодо запобігання знеуглецювання поверхневого шару деталей, особливо цементованих. В залежності від розміру і

місця зносу, а також форми деталі проводять загальний або місцевий нагрів. В останньому випадку нагрівають тільки відновлювану частину деталі. Для загального нагріву використовують печі, а для місцевого - струми високої частоти.

Поширення набуло використання локального нагріву відносно невеликих об'ємів металу в результаті дії сил тертя. При цьому механічна енергія, що підводиться до інструменту, перетворюється в теплову безпосередньо в місці його контакту з деталлю. У місці контакту дорна з відновлюваною деталлю виникають сили (момент) тертя і генерується теплова енергія, яка відводиться в тіло шипа та інструмент. Таким чином, в зоні контакту дорна і деталі діє внутрішнє джерело теплової енергії, що забезпечує швидкий локальний нагрів металу до заданої температури. У результаті осьової подачі дорн в міру нагріву тіла шипа до температури 950 - 1000°C впроваджується в мастильний отвір хрестовини і роздає її в діаметральном напрямку.

Завдяки тому, що нагрівання відновлюваного шипа до пластичного стану проводиться тільки в зоні деформації на відміну від попереднього об'ємного його нагріву, наприклад, в печі або струмами високої частоти, одночасно з роздачею (збільшенням діаметральних розмірів) подовжуються лінійні розміри шипа на 0,3 - 0,5 мм. Це дозволяє виключити трудомісткі операції з наплавлення торцевих поверхонь шипів для їх подовження і механічної обробки після наплавлення.

В процесі роздачі дорн, як і деталь, нагрівається до температури 950 - 1000°C. Жароміцні сталі при даній температурі різко знижують свої механічні властивості і під дією прикладеного навантаження деформуються. Тому в якості матеріалу для дорна використовують тверді сплави. Найбільшою стійкістю володіє інструмент з однокарбідного сплаву ВК-6, який складається з кобальту (6%) та карбіду вольфраму(94%).

За формою дорн є циліндричним круглим стержнем з конічною західною частиною. Діаметр циліндричної частини дорна визначає діаметр шипа хрестовини після роздачі.

У період роздачі шипи нагріваються до температури 950 - 1000°C. У результаті відбувається відпуск, а твердість робочих поверхонь хрестовин знижується до HRC 35 - 42. Тому після роздачі виконується термічна обробка

хрестовин, яка полягає в загартуванні за температур 840 - 860°C і наступному відпуску (нагрівання при температурі 180 - 200°C протягом 90 - 120 хв).

Механічна обробка розданих і термічно оброблених хрестовин включає чорнове і чистове шліфування торців на плоскошліфувальному верстаті ЗД722 в пристосуванні, чорнове шліфування на шліфувальному напівавтоматі ЗМ185 і чистове шліфування на шліфувальному напівавтоматі ЗЕ184 за зовнішнім діаметром.

Фінішно оброблені хрестовини після миття і контролю консервують в ванні типу 25М-ОН-1-66, упаковують і направляють в комплектувальне відділення або на склад готової продукції.

Основні переваги відновлення роздачею з нагріванням в результаті сил тертя при відносному русі деталі і інструменту:

- висока продуктивність процесу. Залежно від діаметра відновлюваних деталей час роздачі від 12 с до 1 хв;
- мале споживання енергії і потужності. Локальне виділення теплоти в зоні контакту дорна і виробу зумовлює високі енергетичні характеристики процесу. Витрата енергії і потужності в декілька разів менше, ніж при нагріванні деталей в печах опору або струмами високої частоти;
- високий коефіцієнт потужності $\cos \varphi = 0,8 - 0,85$ і рівномірний розподіл енергії між фазами живильної трифазної електричної мережі. Це пов'язано з тим, що енергетичним вузлом в установках для роздачі є асинхронний двигун;
- на відміну від інших методів за роздачі не відбувається укорочення відновлюємих виробів за довжиною, а навпроти, забезпечується подовження лінійних розмірів до 0,5 мм;
- простота механізації і автоматизації процесу. Основні параметри процесу – частота обертання і осьовий тиск дорна легко програмується. Існуючі установки працюють в напівавтоматичному (модель УВК-1) або автоматичному (модель АВК-4) режимах;
- висока економічна ефективність процесу. Перераховані енергетичні та технологічні переваги роздачі з нагріванням в результаті сил тертя визначають її високу економічну ефективність.

У ремонтному виробництві крім розглянутих різновидів механічної роздачі широко використовують способи відновлення порожнистих деталей гідротермічною і електрогідравлічною роздачею.

Гідротермічна роздача (ГТР) відноситься до числа високоефективних і недорогих способів відновлення трубчастих деталей, типу поршневих пальців. Спосіб передбачає нагрівання зношеного поршневого пальця в індукторі струмами високої частоти до температури 790 - 910°C. Після досягнення необхідної температури нагрівання зупиняють і швидко охолоджують палець, пропускаючи потік води через внутрішню порожнину деталі. В результаті відбувається збільшення зовнішнього діаметра з одночасним гартуванням.

Фізичну сутність механізму гідротермічної роздачі можна пояснити наступним чином. При нагріванні сталевого пальця до необхідної температури відбувається збільшення зовнішнього і внутрішнього діаметрів деталі. Під впливом охолоджувальної рідини внутрішній кільцевий шар деталі прагне зменшитися в об'ємі. Однак нагрітий зовнішній шар сталі охолоджується значно повільніше і цим перешкоджає скороченню внутрішніх охолоджених шарів до вихідних розмірів. Внутрішні шари металу, будучи пов'язаними з зовнішніми шарами, не мають можливості зменшитися в об'ємі. При остиганні внутрішні кільцеві шари сталі втрачають свою пластичність і утворюють своєрідну жорстку „оправку”, що запобігає усадці зовнішнього кільця. В результаті чого відбувається збільшення зовнішнього діаметра трубчастої деталі.

Для забезпечення повного розпаду залишкового аустеніту пальці обробляють холодом протягом 2 год. при температурі – 50 - 70 ° С в холодильному агрегаті АКФЕС 2,5-70. Після обробки холодом пальці проходять відпуск в шахтній електропечі 2БП-62 при температурі 220 - 230°C протягом 2 год з подальшим охолодженням на повітрі. Після гідротермічної роздачі зовнішній діаметр пальців збільшується в середньому на 0,2 - 0,3 мм.

Чорнове шліфування розданих пальців здійснюється на шліфувальних верстатах ЗШ-184. Режими шліфування: частота обертання кола – 1330 хв⁻¹, колова швидкість круга – 24,2 м/хв; подавання – 1,7 мм/об; число проходів – 1; глибина різання за першого чорнового шліфування – 0,035 мм за другого – 0,025 мм, за

третього – 0,0175 мм. Під час чорнового шліфування використовують шліфувальні круги: ПП 500X150X305 1A5-K63-40C1-CM1, ПП 500X200X305 1A5-K63-40C1-CM1; а також круги: ПП 350X150X203 1A5-B12-16CT-T і ПП 350X200X203 1A5-B12-16CT-T.

Шліфування торця поршневого пальця обумовлено тим, що в процесі гідротермічної роздачі поряд із збільшенням діаметральних розмірів відбувається збільшення і довжини пальців. Тому необхідна операція шліфування торців до номінального розміру пальців за довжиною. Шліфування виконують на плоскошліфувальному верстаті ЗБ-722 з використанням багатомісного пристосування. Пальці, які обробляють, встановлюються між призмами, де вони фіксуються. Базування здійснюється за циліндричною поверхнею деталі. Затискання пальців здійснюється за допомогою пневмоциліндра односторонньої дії.

Після шліфування торців з одного боку пальці перевертають на 180° і шліфують протилежні торці, витримуючи задані робочим кресленням розміри. Перпендикулярність площини торця зовнішньої циліндричної поверхні пальця забезпечується пристосуванням.

Режими шліфування торців пальців: частота обертання кола – 1460 хв⁻¹, глибина різання – 0,06 мм, число проходів – 2. Використовують шліфувальний круг марки ПП 450X63X203 1A5-B50C1-CM1. Контроль довжини оброблених пальців здійснюється скобами, биття торця контролюють на пристосуванні за допомогою індикатора годинникового типу.

Обробка фасок з двох сторін пальців здійснюється на копіювально-шліфувальному верстаті ТШН-400 з використанням пристосування. Для обробки використовують шліфувальний круг ПП 400X32X203 1A5-Ю40МЗ-М1 з частотою обертання 1440 хв⁻¹ при ручній подачі пальця.

Полірують зовнішню фаску на пристосуванні. Шліфувальний круг захищений кожухом, в нижній частині якого (в зоні обертання круга) виконано отвір і встановлена напрямна втулка для подачі пальця. За зношування шліфувального круга втулку переміщують за допомогою гвинта за напрямком до шліфувального кола. Частота обертання круга складає 1440 хв⁻¹.

Після обробки фасок контролюють твердість зовнішньої поверхні у всіх пальців. Твердість вимірюють на приладі ТК-2М в трьох поясках і двох площинах. При твердості на поверхні менш як HRC 56 пальці бракують і направляють на повторну роздачу.

Чистове шліфування пальців виконують на двох безцентровошліфувальних верстатах ЗА-184. Розміри контролюють індикатором 0,5-ИГП із стійкою і призмою.

Режими шліфування: частота обертання круга – 1337 хв^{-1} ; подавання – $1,035 \text{ мм/об.}$; число проходження – 1; глибина різання за першого чистового шліфування – $0,0075 \text{ мм}$, за другого – $0,0055 \text{ мм}$.

Для чистового шліфування використовують шліфувальні круги ПП 500X150X305 1A5-K40-25C1-M3, ведучі круги ПВД 300X150X127 1A5-B6-12CT-T. Овальність, ограновування, конусо-, бочко-, сідлоподібність і вигнутість зовнішньої циліндричної поверхні після чистового шліфування не повинна перевищувати $0,003 - 0,004 \text{ мм}$ (в залежності від типорозміру пальця).

Доведення робочої поверхні відновлених пальців здійснюють на безцентрово-доводочному верстаті ЗШ-184 Д за розмірними групами.

Режими доведення зовнішньої циліндричної поверхні пальців: частота обертання шліфувального круга – 1920 хв^{-1} , подача – $0,2 \text{ мм/об.}$, число проходів – 1. Для процесу доведення використовують шліфувальні круги ПП 500X150X305 1A5-K6-8C1CM, провідні кола ПВД 300X150X X1227 1A5-B3-6CT-T. Як охолоджувальну рідину застосовують 1,5%-ний водний розчин кальцинованої соди.

Обтискання застосовують для відновлення внутрішніх розмірів порожніх деталей в результаті зменшення зовнішніх розмірів. При обтискуванні напрямок зовнішньої сили збігається з напрямом діючої деформації. Застосовують цей метод для відновлення порожнистих, як правило, циліндричних деталей, зношених за внутрішнім робочим отвором (наприклад, втулки, гладкі і шліцьові отвори в сошках рульового управління, внутрішню поверхню циліндрів амортизаторів, гільзи циліндрів ДВС тощо). Розрахунок необхідного зусилля при стисненні визначають аналогічно розрахунку раздачі.

Для відновлення деталей використовують механічний і термопластичний види обтискання. При механічному обтисканні деталей типу втулок попередньо

виготовляють спеціальні штампи. Матриця штампа складається з трьох частин: приймальної частини, обтискаючої та калібруючої частин. Внутрішню поверхню матриці для зменшення сил тертя обробляють до високого ступеня чистоти. Чим менше буде шорсткість на робочій поверхні матриці, тим менше потрібно зусилля при обтисненні.

Діаметри і довжину ділянок матриці, а також нахили при переході від одного діаметра до іншого задають конструктивно, виходячи з розмірів, зносів і матеріалу відновлюваної деталі.

При відновленні втулки за внутрішнім діаметром калібруючі ділянки матриці можуть бути з'єднаними. Внутрішній діаметр втулки після її обтиснення пуансоном обробляють, а зовнішній діаметр нарощують на необхідний розмір одним із способів, наприклад гальванічним шляхом.

Аналогічним способом відновлюють робочі циліндри телескопічних амортизаторів легкових і вантажних автомобілів. Технологія відновлення полягає в обтисканні за зовнішньою поверхнею циліндрів і подальшим протягуванням отвору до номінального діаметра калібрують роликками. Процес обтиснення циліндрів здійснюють на 10 - 20-тонному протяжному верстаті.

Не менш ефективно застосування обтискання для відновлення такої відповідальної деталі, як сошка рульового управління – рис. 1.9.

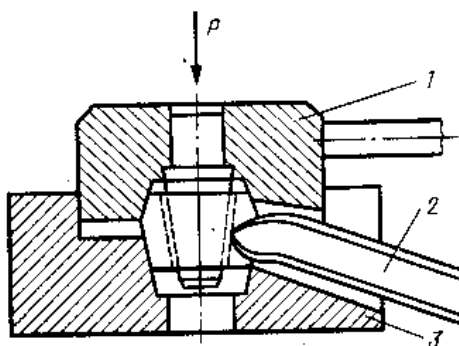


Рис. 1.9. Відновлення конусного отвору рульової сошки автомобіля обтискуванням

Перед відновленням ділянку сошки із зношеним конічним отвором нагрівають (краще в соляній ванні) до температури 1000 - 1050°C і встановлюють в матрицю штампа.

Провушину сошки зверху закривають рухомою верхньою обтискою, до якої прикладають деформуючу силу. Обтиснення здійснюють до тих пір, поки розміри конусного отвору не досягнуть номінального розміру плюс припуск на механічну обробку. Після пластичного деформування відновлюють повторною термічною обробкою структуру і фізико-механічні властивості матеріалу.

Розроблено спосіб відновлення гільз циліндрів методом термопластичного обтискування. Зношену гільзу установлюють у спеціальну водоохолоджувальну матрицю і за допомогою індуктора струмів високої частоти нагрівають її до температури 840 - 880°C. У результаті нагріву гільза розширюється. Однак її вільне розширення за зовнішнім діаметром обмежено стінками матриці. При досягненні певного значення радіальних напружень відбувається пластична деформація, яка збільшується при зростанні температури. При вільному охолодженні гільзи зменшуються в осьовому і радіальному напрямках. Зменшення діаметра гільзи після термопластичного обтискування залежить, в першу чергу, від товщини стінки і матеріалу деталі, інтенсивності та рівномірності нагріву та інших чинників. Регулюючи параметри теплової дії, керують обкуванням. При відновленні автомобільних гільз циліндрів максимальна деформація за один технологічний цикл складає 0,75 - 1,0 мм.

Аналіз ремонтного фонду показав, що з урахуванням припуску на наступну механічну обробку даний спосіб дозволяє відновити до 90% гільз циліндрів двигунів ЯМЗ-236 і ЯМЗ-238. Схематично технологічний процес відновлення гільз циліндрів складається з наступних основних операцій: токарного оброблення зовнішньої поверхні, термопластичного обтискування, нарощування зовнішніх посадкових пасків гільзи (як правило, використовують метод електроконтактного приварювання стрічки), шліфування посадкових пасків, хонінгування дзеркала гільзи, контролю, консервації та пакування.

Втискування використовують для збільшення зовнішнього діаметра плоских деталей типу дисків, шліців тощо. При втискуванні відбуваються одночасно два процеси – осадка і роздача. Втискуванням відновлюють тарілки клапанів, зубчасті колеса, шліцьові вали тощо.

Сутність відновлення шліців (рис. 1.10) полягає атом, що матеріал деталі за допомогою інструменту клиноподібної форми втискується із середньої частини шліца в сторону зношених бічних поверхонь, що забезпечує збільшення його ширини до 1 мм на кожную сторону. Інструмент встановлюють по середині шліца і переміщують його уздовж останнього. Шліцьові поверхні піддають, як правило, втискуванню в холодному стані і в залежності від твердості сплаву вони в подальшому можуть піддаватися термічній обробці.

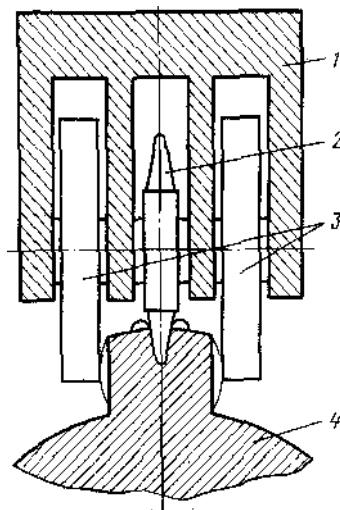


Рис. 1.10. Відновлення шліців втискуванням: 1 – корпус; 2 – деформуючий інструмент; 3 – для стандартизації цих величин ролики; 4 – деталь

Витяжку і розтяжку використовують для збільшення довжини деталей (тяг, штанг, шатунів, важилів) через зменшення поперечного січення. При витяжці напрямок деформуючої сили не співпадає з напрямком деформації, а при розтяжці – співпадає.

Робочі органи ґрунтообробних машин відновлюють відтяжкою.

Накатку застосовують для збільшення зовнішнього або зменшення внутрішнього діаметра деталей витісненням металу окремих ділянок. Напрямок деформуючої сили, протилежний потрібній деформації.

Для відновлення деталей пластичним деформуванням використовують різне обладнання та оснащення. Наприклад: кувальний пневмомолот МА4132, гідропрес П6328, високочастотні установки ЧЗ-1-100/2,4, гартувальну установку піч СПО-5.10.3,2/10-М, ВЧІ-100/0,66, пристосування, ролики, накатник тощо.

Розділ 2. ВІДНОВЛЮВАННЯ СПОСОБАМИ НАНЕСЕННЯМ КОМПЕНСАЦІЙНОГО ШАРУ

2.1. Загальні підходи щодо способів зварювання та наплавлювання

Цей метод охоплює цілу гаму різномірних за своїми фізичним змістом способів, які дозволяють відновити розміри, форму та фізико-механічні властивості пошкоджених поверхонь.

До нього входить застосування таких способів як: різномірні види зварювання та наплавлення, напилення, нанесення гальванічних покриттів, паяння, заливка рідким металом, паяння, застосування полімерних покриттів тощо.

2.1.1. Зварювання й наплавлювання як способи відновлення зношених деталей

У ремонтному виробництві застосовують три види зварювальних робіт - зварювання, наплавлення і заварку. Основне призначення зварювання - відновлення цілісності деталі, створення нероз'ємних з'єднань між частинами однієї деталі або різними деталями. Наплавлення це процес нанесення на поверхню деталі шару металу. У ремонтному виробництві його застосовують для створення на зовнішніх і внутрішніх поверхнях зношених деталей шару матеріалу з метою відновлення їх вихідних форми і розмірів. У ремонтному виробництві наплавлення ефективно завдяки тому, що відновлена деталь виявляється часто не тільки дешевше нової деталі, але також не поступається, а іноді і перевершує її за працездатністю завдяки властивостям наплавленого шару. Зносостійкість, хімічну стійкість та інші необхідні властивості наплавлених поверхонь зазвичай забезпечують легуванням безпосередньо в процесі наплавлення. Заваркою усувають тріщини, пробоїни та інші дефекти для відновлення цілісності і герметичності деталей.

Сутність процесу полягає в тому, що метал плавиться, утворюючи зварювальну ванну, а потім твердіє у вигляді зварювального або наплавленого шва. При цьому йому також супутні процеси окислення металу, поглинання азоту, вигорання летючих домішок, об'ємні і структурні зміни, які приводять до

короблення деталі, порушенню термообробки і зниженню міцності та фізико-механічних властивостей шва.

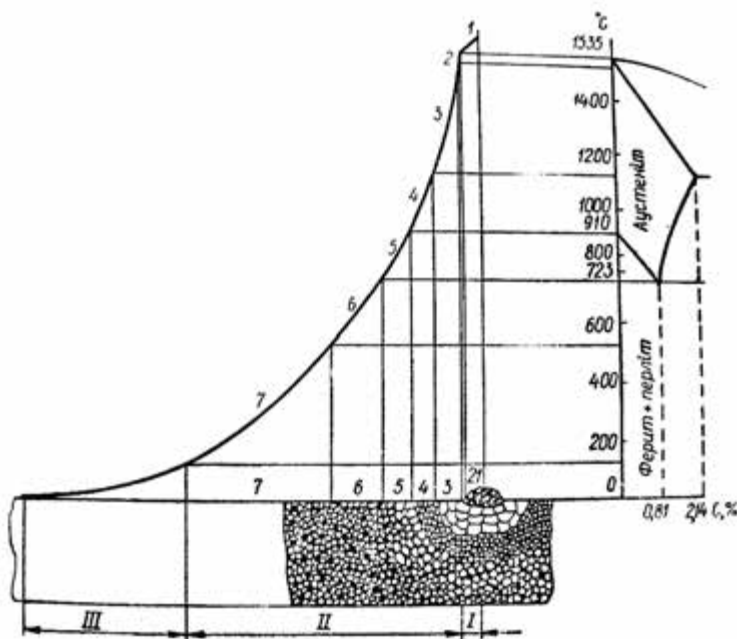


Рис. 2.1. Будова зварного з'єднання: *I* – зони шва і сплавлення; *II* – зона термічного впливу (перегрівання, перекристалізації й відпуску); *III* – зона механічного або термомеханічного впливу; 1 – рідкий стан металу; 2 – твердий стан; 3 – перегрівання; 4 – нормалізація (перекристалізація); 5 – неповна перекристалізація; 6 – рекристалізація; 7 – старіння

Основна характеристика плавлення електрода – лінійна швидкість його плавлення за одиницю часу, яка обумовлена складом електрода, покриттям, режимом зварювання, густиною і полярністю струму. Швидкість плавлення електрода збільшується із збільшенням сили струму майже по лінійній залежності. На характер перенесення електродного металу впливає співвідношення сил (сили тяжіння поверхневого натягу, електромагнітна сила аеродинамічна тощо)

Процес плавлення електрода оцінюється коефіцієнтом розплавлення:

$$L_p = Q_p / It, \quad (2.1)$$

де Q_p – маса розплавленого металу;

I – сила зварювального струму;

t – час плавлення.

Коефіцієнт наплавлення:

$$L_n = Q_n / It, \quad (2.2)$$

де Q_n - маса наплавленого металу.

Коефіцієнт наплавлення звичайно менше коефіцієнта розплавлення через окислення, випарування і розбрикування розплавленого електродного металу.

Коефіцієнт втрат W електродного металу:

$$W = (L_p - L_n) 100 / L_p \quad (2.3)$$

З фізичної точки зору зварювання - це процес утворення міжатомних зв'язків між деталями в результаті їх розплавлення або пластичного деформування в зоні контакту і формування зварного шва. Зварювання дозволяє з'єднувати між собою однорідні та різнорідні метали і сплави, метали з деякими неметалевими матеріалами (керамікою, склом) і пластмаси. При ремонтіванні зварювання застосовується в основному для відновлення цілісності виробів (ліквідація зламів, розривів та інших руйнувань), закріплення додаткових ремонтних деталей, посилення металоконструкцій шляхом установки додаткових кронштейнів, накладок тощо, а також з технологічною метою для тимчасової фіксації відносного положення елементів конструкції.

Умови, необхідні для утворення металічних зв'язків, можуть створюватися термічним, механічним або термомеханічним впливом на матеріали в зоні зварювання. Відповідно до виду енергетичного впливу розрізняють способи зварювання: плавленням (термічні), тиском (механічні) і термомеханічні.

Зварювання плавленням здійснюється без застосування зовнішнього механічного навантаження завдяки сплаву з'єднувальних частин, або з додаванням присадкового матеріалу (дугова, газова, плазмова, електрошлакова, електронно-променева, лазерна та інші види зварювання). Присадковий матеріал застосовується у вигляді електродів, прутків, дроту, стрічок, суміші порошків тощо.

При зварюванні тиском металічні зв'язку між матеріалами забезпечуються завдяки їх пластичній деформації при температурі нижче температури плавлення. На цьому принципі засновані різні види зварювання: холодне, ультразвукове, дифузійне, вибухом та ін. Для зменшення зусилля деформування, крім механічного впливу, деталі нагрівають (пропусканням електричного струму або завдяки тертю

між ними) до приведення в пластичний стан. На цьому засновані термомеханічні види зварювання, наприклад, електроконтактне, опором, високочастотне, дифузійне і зварювання тертям.

У ремонтному виробництві зазвичай застосовуються термічні види зварювання. Як джерела тепла частіше використовуються: електрична дуга (електродугове або електротермічне зварювання), електричний струм (індукційне, електрошлакове), газове полум'я (газотермічним зварювання), плазма (плазмове), рідше - випромінювання лазера (лазерне або променеве), енергія електронів (електронно - променеве) тощо.

За мірою автоматизації розрізняють ручне і механізоване зварювання (наплавлення). До механізованих належать автоматичні і напівавтоматичні способи зварювання і наплавлення. При автоматизованих способах механізовані подача зварювальних матеріалів, переміщення зварювальної дуги вздовж шва, а також її збудження і підтримання горіння. При напівавтоматичних способах механізовані подача електродного дроту і допоміжних матеріалів.

Основними перевагами механізованих способів порівняно з ручними є: вища якість зварювальних робіт завдяки стабільності технологічного процесу, підвищення продуктивності праці та зниження собівартості відновлення деталей і більш низькі вимоги до кваліфікації робітників. Найбільш широко механізовані способи зварювання і наплавлення застосовуються для відновлення деталей типу тіл обертання.

Вибір раціонального для конкретних умов ремонтування способу зварювання залежить від технічних, економічних і організаційних умов виробництва і експлуатаційних вимог до відновлюваної деталі.

Дефекти зварювання і наплавлення та заходи боротьби з ними. Висока температура в зоні зварювання викликає шкідливі процеси: окислення металу, вигоряння і розбризкування легувальних елементів, насичення наплавленого металу азотом і воднем та ін. В результаті відбуваються структурні зміни в металі, знижується його пластичність, утворюються внутрішні напруги розтягнення, що може викликати викривлення деталей і освіту в них тріщин.

Окислення і вигоряння легувальних елементів (вуглецю, марганцю, кремнію

та ін.) відбувається в результаті взаємодії розплавленого металу з киснем повітря. Крім цього, з повітря в зону зварювання при відсутності надійного захисту може потрапляти азот, який погіршує пластичність металу. Тому надійний захист розплавленого металу є найважливішою умовою якісної зварювання.

Для виконання цієї умови служать спеціальні покриття (обмазки) електродів і флюси, при плавленні яких утворюються газова оболонка і шлак, що оберігають метал від взаємодії з навколишнім середовищем.

Вид зварювання, коли для захисту використовується флюс, називається зварюванням під флюсом. Для захисту зони зварювання часто застосовують газове середовище (зварювання в середовищі вуглекислого газу, аргону та їх сумішей тощо).

Застосовувані покриття електродів і флюси повинні бути максимально зневоднені ретельним сушінням, тому що волога є джерелом насичення металу воднем. При його наявності підвищуються пористість наплавленого металу і утворюються залишкові внутрішні напруження.

Розбризування рідкого металу при зварюванні відбувається внаслідок виділення вуглекислого або інших газів. Втрати металу зменшуються при використанні електродів зі зниженим вмістом вуглецю, електродів з порошкового дроту, ретельного очищення поверхонь, що зварюються від оксидів і введенні в покриття електродів і флюси розкислюючих елементів (марганцю, кремнію та хрому). Розбризування зменшується також при наданні електроду коливального руху, накладенням на зону зварювання магнітного поля.

Структурні зміни в металі при зварюванні обумовлені в основному нерівномірним нагріванням деталі в навколошовній зоні (зоні термічного впливу) і викликають погіршення механічних властивостей металу в ній. Розміри зони термічного впливу залежать від хімічного складу металу, що зварюється, способу і режиму зварювання і при електродуговим зварюванням складають 3 - 5 мм, а при газовому 25 - 30 мм. Збільшення зварювального струму (потужності газового полум'я) приводить до розширення зони термічного впливу, а швидкості зварювання - до її зменшення.

Через нерівномірне нагрівання і структурних перетворень в зоні термічного

впливу виникають внутрішні напруження. Якщо вони перевищують межа пластичності матеріалу, то деталь деформується. Структурні зміни і внутрішні напруження можуть викликати при високій температурі (для вуглецевих сталей 1200 - 1350°C) гарячі тріщини, а при температурі нижче 400°C – холодні тріщини.

Гарячі тріщини є наслідком пружнопластичної деформації при кристалізації металу під дією напружень розтягу. Ефективними заходами боротьби з цим явищем є попередній підігрів основного металу, раціональний режим зварювання і послідовність накладення окремих ділянок шва. Температура підігріву в залежності від хімічного складу металу, який наплавляють і конструкції деталі може складати 150 - 700°C. Хімічними елементами, що підвищують міцність зварного шва і перешкоджають утворенню гарячих тріщин, є марганець, нікель і хром, а шкідливими домішками в металі шва – вуглець, кремній, фосфор, сірка та водень.

Холодні тріщини бувають гартувальні та крихкі. Гартувальні тріщини виникають в середньо- і високовуглецевих сталях на межі сплаву шва з основним металом і викликаються перепадом напружень. Ймовірність утворення гартувальних тріщин знижується при зменшенні сили зварювального струму і збільшенні швидкості наплавлення. Небезпека крихких тріщин полягає в тому, що, виникнувши в наплавленому шарі, вони поширюються в основний метал. Для попередження їх утворення застосовують попередній підігрів деталі і повільне її охолодження після зварювання.

Типовим дефектом зварного шва є пористість, яка обумовлена утворенням в рідкому металі або попаданням в нього іззовні бульбашок різних газів (азоту, вуглекислого газу, водню та ін.). Зменшення пористості досягається: уповільненням процесу охолодження ділянки зварювання, що полегшує виділення бульбашок газів; надійним захистом електричної дуги від повітря; звільненням зварювальної ванни від азоту і водню шляхом переведення їх в сполуки, що переходять в шлак та застосуванням раціонального режиму зварювання.

При неправильному режимі зварювання можливі також такі дефекти: напливи розплавленого металу, що виникають при високій швидкості плавлення електродного матеріалу або недостатній температурі деталі; недовари – неякісне сплавлення електродного та основного матеріалів; переплав – неприпустиме

окислення розплавленого металу тощо.

Якість зварних з'єднань при термічному зварюванні істотно залежить від зварюваності матеріалів, яка характеризується їх схильністю до утворення зварювальних дефектів (тріщин, пор тощо). За цією ознакою матеріали поділяють на ті, які добре, задовільно, обмежено і погано зварюються.

Наплавлюванням відновлюється до 75% всіх зношених деталей машин і механізмів.

Доступність цього способу для будь-якого підприємства, простота процесу і обладнання, можливість забезпечення необхідних фізико-механічних властивостей наплавленого металу забезпечили йому широке застосування. Разом з тим наплавленні властиві ті ж недоліки, що і при зварюванні: зміна структури основного металу, виникнення внутрішньої напруги в деталях і їх деформації тощо

Залежно від матеріалу відновлюваної деталі і тих вимог, що пред'являються до неї експлуатаційних вимог застосовують такі наплавочні матеріали: сталі (вуглецеві, леговані); сплави на основі заліза (високохромисті чавуни, сплави з легувальними елементами); сплави на основі нікелю і кобальту; карбідні сплави (з карбідом вольфраму або хрому); мідних сплавів; порошкові матеріали,

Ручне дугове наплавлення - найпростіший і найпоширеніший в ремонтному виробництві спосіб. Його виконують короткою дугою на мінімальному зварювальному струмі.

З механізованих методів за ремонтування частіше застосовуються напівавтоматичне і автоматичне наплавлення під шаром флюсу, в середовищі захисних газів, вібродугове, які одночасно забезпечують підвищення продуктивності і якості наплавлювальних робіт.

Електрошлакове наплавлювання, яке здійснюється завдяки проходженню електричного струму через розплавлений шлак, застосовується при великому обсязі наплавлювальних робіт і товщині наплавного шару більше 5 мм. Воно характеризується високими показниками продуктивності і якості наплавленого шару, його малою схильністю до утворення тріщин і пор.

Все більш широко застосовують при відновленні і виготовленні деталей наплавлення, яке засноване на індукційного нагрівання присадкового матеріалу

струмами високої частоти. Присадковий матеріал може представляти суміш порошків в сипучому або спресованому стані, лите кільце і т.д.

Дугове наплавлення неплавким електродом застосовують в основному для відновлення деталей із твердих зернистих і порошкових сплавів. Дугове наплавлення вольфрамовим електродом в захисних газах (аргоні) виконують, використовуючи литі присадкові прутки (зазвичай із сплавів нікелю і кобальту). Зазначеним способом отримують дуже малу глибину проплавлення і тонкі наплавлені шари.

Існує багато різновидів наплавлення з використанням газового полум'я, плазмової дуги із застосуванням порошкового дроту і пластинчастого електрода.

Останнім часом розширюється застосування лазерного наплавлення для надання певних, специфічних властивостей робочим поверхням нових і відновлених деталей. Локальний тепловий вплив, мінімальне переміщення наплавленого і основного металів та незначні деформації відновлених деталей є істотними перевагами лазерного наплавлювання.

Недоліком методів наплавлення є наявність, як правило, в поверхневому шарі відновлених деталей розтягують залишкових напружень, які можуть бути причиною утворення тріщин, спотворення форми наплавлених деталей, зниження їх втомної міцності тощо. Для виключення цього застосовують підігрів деталей перед наплавлюванням, а також подальшу обробку наплавленого шару поверхнево-пластичним деформуванням.

У технологічному відношенні найбільш просто виконується наплавлення деталей з низьколегованих і маловуглецевих сталей (до 0,4% С), при якому, практично, виключається можливість утворення тріщин. Тому таке наплавлення часто застосовують для відновлення сильно зношених деталей, а також в якості підшару для подальшої наплавлення іншими матеріалами. При змісті вуглецю понад 0,4%, а також при наплавленні деталей з легованих сталей для запобігання утворенню тріщин необхідний підігрів, особливо, масивних виробів. З цією ж метою наплавлення проводять при мінімальних значеннях струму і напруги.

Для наплавлення неіржавіючих сталей, які найбільш чутливі до утворення гарячих тріщин, рекомендується наносити проміжних шари і застосовувати

електродний дріт марок Св-Х18Н10Т і Св-Х17Н13Н2Т.

Попередній підігрів і нанесення підшару рекомендуються також для наплавлення шарів з високою твердістю і зносостійкістю, зокрема, з високохромистого чавуну, оскільки шви схильні до утворення холодних тріщин, особливо, при наплавленні на великогабаритні деталі.

Корозійностійкі та жаростійкі нікелеві сплави, включаючи леговані молібденом і хромом, наплавляють в основному у вигляді порошоків.

Класифікація способів дугового зварювання.

За родом струму - постійний, змінний, пульсуючий.

За станом дуги - вільна і стиснута.

За числом дуг - одно - або багатодугова.

За полярністю зварювального струму - пряма, обернена.

За видом електродів, які плавляться (металічний); які не плавляться (вугільний, вольфрамовий).

Технологічний процес наплавлення у всіх випадках включає очищення і контроль деталі з метою виявлення тріщин, плівок, надривів і інших дефектів. Виявлені дефекти видаляються шляхом вирубку, обточування і до наплавлення заварюються.

Схеми наплавлення і обладнання, яке застосовують, залежать від форми деталей, серійності виробництва і технічної оснащеності підприємства. Наприклад, схеми наплавлення циліндричних і конічних деталей розрізняються за такими основними ознаками:

- розташуванню валиків наплавленого металу (по гвинтовій лінії і по прямолінійним утворюючим уздовж осі деталі);
- за видом процесу наплавлення (одноелектродна однодугові процес; Багатоелектродні однодугові; двухелектродний і т.д.);
- за мірою автоматизації процесу (ручна і механізована).

Шийки довгих валів малих діаметрів вигідніше наплавляти поздовжніми валиками. Торцеві поверхні деталей типу дисків наплавляють концентричними або спіральними валиками. Аналогічно наплавляють сферичні поверхні.

Схема наплавлення не повинна викликати значних залишкових деформацій

деталей, які відновлюють. Наприклад, при наплавленні циліндричних деталей поздовжніми валиками деформації мінімальні, якщо їх накладають в двох або чотирьох зонах по колу, повертаючи деталь після наплавлення кожного валика на 180°.

Більш ефективним способом наплавлення циліндричних поверхонь є накладення валиків по гвинтовій лінії, оскільки забезпечуються безперервність процесу, вища продуктивність і найменше викривлення деталей.

Для виконання наплавлення зазвичай використовуються переобладнані токарні верстати або спеціальні установки.

2.1.2. Зварювальні й наплавлювальні матеріали

Електроди для зварювання та наплавлення сталевих виробів. Електроди для ручного зварювання являють собою дротяні стрижні довжиною 300-400 мм, діаметром 1,6 - 12 мм з нанесеним на них покриттям (тонкої крейдяний або товстої спеціальної обмазок). Тонке покриття має товщину 0,15 - 0,3 мм, а товсте – 0,25 - 0,35 d , де d – діаметр електроду мм. Електроди з тонким покриттям застосовують для зварювання маловідповідальних деталей, оскільки воно призначене лише для забезпечення стійкого горіння дуги.

Товсті покриття є захисно-легируючими і дозволяють отримати наплавлений метал з відповідними механічними властивостями, які необхідні для зварювання та наплавлення відповідальних деталей. Такі покриття, крім стабільного горіння дуги, забезпечують також захист розплавленого металу від впливу повітря і отримання металу шва з заданими складом і властивостями завдяки легуванню елементам розплавленого металу, які містяться в покритті. Тому до складу товстого покриття електродів вводять стабілізуючі, газоутворюючі, шлакоутворюючі, розкислюючі, легвальні та з'єднувальні компоненти.

Покриття електродів можуть бути кислими (позначаються літерою А), основними (Б), рутиловими (Р), органічними (О), целюлозними (Ц), іншими (П).

Електроди з кислими покриттями застосовують для зварювання низьковуглецевих і низьколегованих сталей. Вони дозволяють вести зварювання у

всіх просторових положеннях на змінному і постійному струмі. Можливе зварювання металу при наявності на поверхнях, які зварюються, іржі, окалини та інших відкладень. Однак електроди з такими покриттями токсичні, що пов'язано з виділенням сполук марганцю в газоподібному стані.

Електроди з рутіловими покриттями застосовують для зварювання відповідальних конструкцій з низьковуглецевих і низьколегованих сталей.

Електроди з основним покриттям застосовують для зварювання відповідальних конструкцій із сталей всіх класів. Можливе легування матеріалу зварного шва завдяки введенню в покриття легувальних елементів. Якість зварювання такими електродами підвищується, якщо вона виконується на постійному струмі зворотної полярності, а електроди перед зварюванням піддаються прокалюванню при температурі 400...450°C.

При відновленні деталей машин ручним зварюванням, зазвичай, застосовують електроди діаметром від 1,2 до 5,0 мм. За призначенням електроди підрозділяються на п'ять класів: для зварювання вуглецевих і низьколегованих конструкційних сталей з $\sigma_s < 600$ МПа, легованих конструкційних сталей з $\sigma_s > 600$ МПа, легованих жароміцних сталей, високолегованих сталей з особливими властивостями і для наплавлення поверхневих шарів з особливими властивостями. Необхідні механічні властивості зварного з'єднання забезпечуються вибором відповідної марки електрода.

Електроди для зварювання конструкційних сталей ділять на типи: E38, E42, E42A тощо, де буква E вказує, що електрод призначений для зварювання, цифри позначають σ_s наплавленого металу складає 10 МПа, а індекс А – то, що зварювальний шов, наплавлений цим електродом, має підвищені пластичні властивості.

У позначення типу наплавлювального електрода входять: поєднання букв „Ен” (електроди наплавлювальні), основні хімічні елементи, що входять до складу наплавленого шару і їх середній вміст у відсотках. Якщо в позначенні типу електрода є буква У, то вміст вуглецю дано в десятих частках відсотка, а якщо вона відсутня, то в сотих частках. Цифри, що стоять після дефіса в кінці позначення вказують твердість наплавленого шару (HRC_э).

Наприклад, марка електрода Ен-У30Х23Р2С2ТГ розшифровується так: Ен - електрод наплавлювальний; У30 – вміст вуглецю в наплавленому шарі 3%; Х23 – хрому 23%; Р2 – бору 2%; С2 – кремнію 2%; Т –титану 1%; Г – марганцю 1%. Позначення Ен-14Г2Х-30 розшифровується так: електрод наплавлювальний, наплавлений шар містить 0,14% вуглецю, 2% марганцю, 1% хрому і має твердість НRC 30.

Іноді в позначенні марки електрода твердість наплавленого шару вказують в НВ, наприклад, ОЗН-300, Т-590.

Стрижні електродів для зварювання сталевих виробів виготовляють із сталевого зварювального дроту, який відповідно до стандарту випускається діаметром 0,2 - 12 мм. Він використовується також в якості електрода при механізованому дуговому зварюванні під флюсом і в середовищі захисних газів, як присадковий матеріал при дуговому і газовому зварюванні.

Зварювальний дріт в залежності від складу ділиться на три групи: низьковуглецевий (Св-08А, Св-08ГС тощо), легований (Св-18ХМА; Св-10Х5М тощо) та високолегований (Св-06Х19Н10М3Т; Св-07Х25Н13 тощо).

Наплавлювальний дріт виготовляється діаметром 0,3 - 8,0 мм наступних марок: вуглецевий (Нп-25, Нп-45, Нп-65 і ін.); легований (Нп-40Г, Нп-65Г, Нп-30ХГСА, Нп-5ХНМ) і ін.); високолегований (Нп-20х14, Нп-40Х13, Нп-40Х2В8Т, Нп-Х20Н80Т і ін.).

У марках дроту „Св” означає зварювальний, „Нп” – наплавлювальний, а наступні літери і цифри – її склад.

Якість зварювання і наплавлення істотно залежать від правильного вибору електрода. Тип і марку електрода вибирають з довідкових таблиць в залежності від матеріалу і призначення деталі, що зварюється. Для зварювальних робіт стрижнями електродів зазвичай є маловуглецевий дріт Св-08, Св-08ГА тощо. Для зварювання конструкційних низьковуглецевих і низьколегованих сталей типу 15Х, 20Х застосовують електроди Е-38, Е-42, Е-42А, Е-46 тощо. Найбільш поширені електроди марок УОНИ-13/45; УОНИ-13/55.

Целюлозне покриття містить органічні речовини з невеликою кількістю шлакоутворюючих компонентів, які створюють хороший газовий захист і

утворюють невелику кількість шлаку при зварюванні на змінному і постійному струмі низьковуглецевих і низьколегованих сталей. Електроди з таким покриттям особливо ефективні, коли зварювання повинна проводитися в різних просторових положеннях. Цифра перед позначенням C_v означає діаметр електрода, буква А – в кінці марок низьковуглецевих і легованих вказує на підвищену чистоту металу за вмістом сірки і фосфору, букви після А через дефіс вказують: М – обміднена, Е – для електродів, Ш –отримана із сталі виконаної електро-шлаковим переплавом, Д – холоднодеформована, Г – гарячедеформована.

Діаметр електрода залежить від товщини деталі, типу шва і його положення в просторі. При вертикальному і стельовому швах діаметр електрода не повинен бути більше 4 мм.

Для наплавлення ручним електродуговим зварюванням деталей з маловуглецевих сталей, що не піддавалися термічній або хіміко-термічній обробці, застосовують звичайні зварювальні електроди. Наплавлення деталей із середньовуглецевих і легованих сталей, загартованих, а також з маловуглецевої сталі, але з цементованої поверхнею виконується тільки спеціальними наплавочними електродами.

Для отримання при напавленні зносостійкого покриття на деталях з маловуглецевої, середньовуглецевої і низьколегованої сталей застосовують електроди марок ОЗН-300, ОЗН-350, ОЗН-400. Ці електроди мають стрижень з легованого дроту відповідно ЕН-15ГЗ-25; ЕН-18Г4-35 і ЕН-20Г4-40.

Хороша зносостійкість деталей, що працюють з безударним навантаженням, забезпечується наплавлюванням електродом Т-590, а деталей, що працюють з помірно ударної навантаженням, - електродом Т-620. Ці електроди виготовляють з зварювального дроту Св-08А з обмазкою, що містить хром, бор, кремній, марганець і інші легувальні елементи. Тому напавлений такими електродами шар являє собою легований цими елементами сплав. Електродом марки Т-590 наплавляють деталі машин, що працюють в умовах інтенсивного зношування.

Для нанесення зносостійких покриттів зазвичай застосовують порошкоподібні, металокерамічні і литі тверді сплави.

Порошкові сплави типу Вокар і сталініт у вигляді зерен величиною 0,5-2,5 мм,

що представляють собою механічну суміш вольфраму, хрому та інших металів з вуглецем. Наплавлений ними шар є твердим розчином карбідів відповідних металів і заліза. Ці сплави завдяки відносно невисокій вартості і високій зносостійкості наплавленого шару застосовуються для наплавлення деталей, які за умовами експлуатації не вимагають механічної обробки і допускають наявність в поверхневому шарі пор, раковин і тріщин. Твердість наплавленого сталінітом шару підвищується в результаті відпалу при 800...900°C в закритій печі.

Металокерамічні сплави, отримані пресуванням суміші порошків з подальшим спіканням, мають в своєму складі 82-94% карбідів тугоплавких металів (вольфраму, титану тощо). Завдяки цьому і високій твердості карбідів, дані сплави також дають високу зносостійкість.

З однокарбідних сплавів, зазвичай застосовують вольфрамокобальтові сплави ВК6, ВК8 і ВК12. З двокарбідних сплавів, що містять крім карбідів вольфраму також карбіди титану, застосовують титановольфрамокобальтові сплави (Т5К10, Т15К6 тощо).

Литі тверді сплави отримують плавленням в індукційних тигельних печах. До складу цих сплавів входять кобальт, хром, вольфрам, вуглець і в невеликій кількості марганець, кремній і залізо. З них литтям виготовляють прутки діаметром 3-8 мм, які використовуються в якості присадкового матеріалу при наплавленні. Сплави мають різну твердість (в залежності від кількості карбідів), високий опір до зношування і в'язкість та хорошу хімічну стійкість. Поряд з цими сплавами застосовуються хромонікелеєві безвольфрамові сплави сормайт № 1 і сормайт № 2, в яких кобальт замінений залізом. Сплав сормайт № 2 в порівнянні зі сплавом сормайт № 1 більш в'язкий, тому його застосовують для наплавлення деталей, що працюють з підвищеним навантаженням і ударами.

Деталі, наплавлені сплавами ВКЗ і сормайтом № 1, після механічної обробки мають чисту поверхню, без пор і раковин. Вони не піддаються відпалу, не втрачають свою твердість і зносостійкість при нагріванні, тому ними можна наплавляти деталі, що працюють при температурі до 900°C.

Електроди для зносостійкого покриття являють собою звичайні стандартні металеві електроди, покриті спеціальною обмазкою з ферохрому, феромарганцю або

сталініта.

У процесі наплавлення компоненти обмазки вступають у взаємодію між собою, а також з залізом електрода і основного металу. В результаті на робочій поверхні утворюється наплавлений шар високої твердості і підвищеної зносостійкості. Електроди з обмазкою з ферохрому або феромарганцю використовують переважно для відновлення деталей з подальшим наплавленням їх сталінітом. У деяких випадках такі електроди застосовують для наплавлення робочих поверхонь, щоб підвищити зносостійкість деталей, що працюють у важких умовах механічного зношування.

Для нанесення тврдосплавних покриттів застосовуються також електроди, що є тонкою залізу або нікелеву трубку діаметром 3-5 мм. заповнену твердим сплавом (трубчастим сплавом ТЗ). Використовуючи таку трубку як електрод.

Зварювання і наплавлення деталей з алюмінію і його сплавів ускладнена через такі причини:

- висока їх пливучість у розплавленому стані, що створює технічні труднощі накладення зварних швів у різних положеннях, окрім нижнього;

- при наплавлюванні алюмінію на поверхні зварювальної ванни утворюється тугоплавка плівка оксиду алюмінію, яка перешкоджає процесу зварювання, оскільки температура її плавлення становить 2050°C , що значно перевищує температуру плавлення алюмінію (660°C) або сплаву АЛ-4 (530°C);

- алюміній і його сплави мають високий коефіцієнт лінійного розширення, а при охолодженні з розплавленого стану дають значну усадку, що може бути причиною утворення високих залишкових напружень;

- при температурі $400 - 500^{\circ}\text{C}$ алюмінієві сплави мають підвищену крихкість, що сприяє утворенню при зварюванні тріщин;

- в розплавленому стані алюмінієві сплави активно поглинають водень, що сприяє утворенню пір в зварному шві.

Деталі з алюмінію і його сплавів зварюють газовим полум'ям або електродуговим способом.

Газове зварювання алюмінію виконується нейтральним ацетиленокисневим полум'ям. Використовується пальник, відрегульований на нейтральне полум'я.

Діаметр присадкового прутка – 7 мм. Присадковий матеріал повинен мати той же склад, що і основний метал. Основні труднощі при газовому зварюванні деталей з алюмінієвих сплавів пов'язані з наявністю на поверхнях тугоплавкої плівки окисів, яка підлягає видаленню перед зварюванням.

Для захисту розплавленого металу від окислення і видалення з нього окисів застосовують флюс АФ-4А, до складу якого входять (%): хлористий калій – 50; хлористий натрій – 28, хлористий літій – 14 і фтористий натрій – 8. Для видалення залишків флюсу і запобігання корозії зварених шов рекомендується промити гарячою водою.

Дугове зварювання алюмінію зазвичай проводиться електродом ОЗА-2 постійним струмом при зворотній полярності. Електрод має стрижень з алюмінієвого дроту і покриття товщиною 0,6-0,8 мм наступного складу (%): флюс АФ-4А – 65; кріоліт – 25; хлористий калій – 9; губчастий титан – 1 і сполучний розчин карбоксиметилцелюлози – 12-14 (до суми компонентів).

Режим зварювання: при товщині стінки деталі від 4 до 9 мм діаметр електрода береться 5 мм, а довжина дуги – 4 - 5 мм; сила струму при товщині стінки 4 - 6 мм становить 140 - 170 А; при товщині стінки 7 - 9 мм – 160 - 210 А.

Висока якість забезпечує аргонодугове зварювання алюмінієвих сплавів неплавким вольфрамовим електродом. Як присадковий матеріал рекомендується сплав алюмінію з кремнієм (5 - 6%). Зварювання ведеться на змінному струмі без застосування флюсу, оскільки як аргон добре захищає розплавлений метал від окислення. Завдяки цьому зварний шов не має пор і шлакових включень.

Для запобігання викривленню деталі і утворення тріщин, деталь перед зварюванням піддається місцевому або загальному нагріванню до температури 200 - 250°C. Після зварювання слід проводити низькотемпературний відпуск деталі при температурі 300 - 350°C з метою зняття внутрішніх напружень і поліпшення структури наплавленого металу.

Латунні деталі зварюють газовим зварюванням. Застосовують окислювальне полум'я з невеликим надлишком кисню. Як присадковий матеріал використовують латунні прутки, які знижують вигорання цинку зі зварювальної ванни.

Бронзові деталі також зварюють газовим зварюванням. Зварювальне полум'я

має бути нейтральним. Як присадковий матеріал застосовують бронзові прутки з вмістом фосфору до 0,4%, Останній добре розкислює метал шва і ускладнює вигорання олова. Після зварювання деталей нагрівають до 450 - 500°C

Прутки використовують при зварюванні чавуна ПЧ-1; ПЧ-2, ПЧН-1 тощо.

Електроди, які розрізняють за видом покриттів і складом обмоток: А - із кислим покриттям, що містять окис заліза, марганцю, кремнію (ОММ- 54, ЦМ -7; ЦМ-8. Б - із основним покриттям ЦОНИ-13/45, ЦОНИ-13/55, ЦЛ, ОЗС-2; АНО-7 – основа – фтористий кальцій і карбонат кальцію. Зварювання на постійному струмі оберненої полярності деталей із товстими стінками. Ц- целюлозним покриттям /газовий захист дуги: ВСЦ-4; ВСЦ-4А; ОМА-2; ОЗС-І – малої товщини на змінному струмі обої полярності. Р- з рутиловим покриттям (ОЗС-4; ОЗС-6; АНО-1; АНО-3) – основний компонент окис титану для зварювання на постійному і змінному струмах.

П – інші види покриття: АНО-6, АНО-10, а також змішаного виду покриття.

В залежності від матеріалів, які зварюють, низьколегованих вуглецевих – У; легованих конструкційних – Л; легованих теплостійких – Т, високолегованих із особливими властивостями – В; для наплавлення – Н. Зварювання ведуть на постійному і змінному струмі (прямої і оберненої полярності).

2.1.3. Джерела струму для дугового зварювання і наплавлення

Класифікуються за родом струму, зовнішній характеристиці, числу постів, характеру приводу, особливостям горіння дуги, способу установки і монтажу, принципу дії, конструктивному оформленню і призначенню та інш.

Джерела постійного струму діляться:

- перетворювачі напруги ПД-305УЧ, ПД-502УЧ; ПСО-300-2У2, ПСТ-500-1У3;
- генератори ГД-304У2, ГД-502 і ГСМ-500;
- агрегати для ручного дугового зварювання в польових умовах АДД-303У1; АДД-304У1.
- випрямлювачі для дугового зварювання ВД-302; ВД-306, ВДГ-303; ВДУ-1201У3.

Джерела змінного струму – зварювальні трансформатори із підвищеним магнітним розсіюванням ТД і по способу регулювання індукційного опору:

- із магнітним шунтом -СТШ-250; СТШ-300;
- із рухомими обмотками ТД-102 У2, ТД-306 У2; ТДМ-3Г7У2.

Зовнішня характеристика це залежність між напругою на затискачах джерела живлення і струмом.

Спеціалізовані джерела струму призначені для ручного, механізованого і автоматичного зварювання використовують допоміжні пристосування осцилятори; імпульсні стабілізатори дуги змінного струму, плавного зниження зварювального струму, регулятори струму.

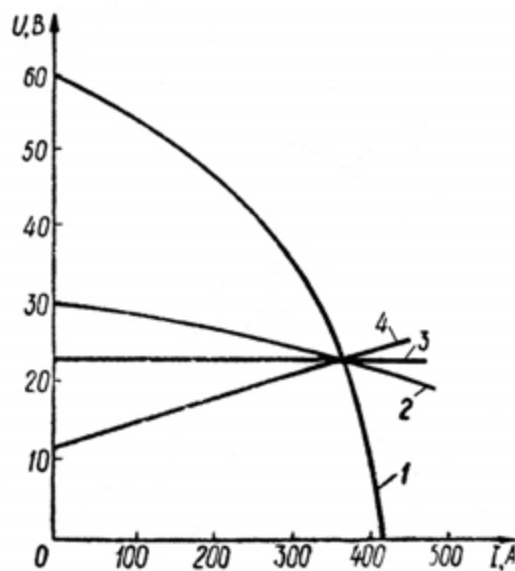


Рис. 2.2. Зовнішні (вольт-амперні) характеристики джерел живлення зварювальної дуги: 1 – крутоспадальна; 2 – пологоспадальна; 3 – жорстка; 4 – висхідна

Джерела живлення зварювальної дуги. Для живлення зварювальної дуги при зварюванні застосовують джерела змінного струму (зварювальні трансформатори) і джерела постійного струму.

Зварювальні трансформатори перетворюють напругу мережі (220 або 380 В), знижуючи його до необхідної для зварювання. Випускаються трансформатори, призначені для ручного дугового зварювання покритими електродами і механізованого зварювання під флюсом. Для ручного зварювання, наплавлення і

різання металів використовують трансформатори ТС-300, ТД-300, ТД-500, ОСТА-350 тощо. У позначеннях моделей трансформаторів числа 300, 500, 350 означають номінальну силу зварювального струму (в А).

Джерела постійного струму діляться на зварювальні випрямлячі (ВС-300, ВДГ-302, ВДГ-601 тощо), Зварювальні перетворювачі (ПСО-300, ПС-500, ПС-1000 тощо), Що складаються з електродвигуна змінного струму і генератора постійного струму, і зварювальні агрегати (АСБ-300-7, АДД-303, АСДП-500Г-3М тощо), які оснащені двигуном внутрішнього згоряння (ГАЗ-320, ЯАЗ-240г тощо).

До сучасних джерел живлення відносяться інверторні випрямлячі, в яких мережева напруга перетвориться в високочастотну (до 60 кГц), яке знижується малогабаритним трансформатором до рівня зварювальної напруги. Маса інверторних випрямлячів приблизно в 10 разів менше, ніж випрямлячів інших типів.

Істотне зниження тепловиділення при зварюванні забезпечують імпульсні джерела зварювального струму, які дозволяють отримати струм у вигляді імпульсів різної форми (прямокутних, експоненційних) з різними часом і періодом проходження імпульсів. Це дозволяє виключити пропали при зварюванні виробів малої товщини.

На ремонтних підприємствах зварювання проводять, головним чином, змінним струмом від зварювальних трансформаторів СТЕ, СТН, ТС і ТСК, які простіші в експлуатації, довговічніші і володіють вищим ККД, ніж випрямлячі та генератори постійного струму. Однак в деяких випадках (зварювання на малих токах покритими електродами і під флюсом) вони не забезпечують стійке горіння дуги.

2.3. Наплавлення в захисних середовищах

Розплавлений метал, що міститься у зварювальній ванні, захищають від дії атмосфери застосуванням струменів газу або формуванням спеціальних середовищ. Під час наплавлювання можуть бути використані такі захисні гази: азот (для міді та її сплавів), гелій, аргон або їх суміші (для всіх металів і сплавів), водяна пара (для сталі і чавуну), вуглекислий газ тощо. Як захисне середовище у ремонтному

виробництві також використовують газополуменевий захист (для сталі, для сірого ковкого чавуну).

Найбільш поширеним є використання, як захисної атмосфери, вуглекислого газу. Попри це, в Японії, США та країнах Західної Європи надають перевагу гелію й аргону.

Технологією передбачається подавання захисного газу до зони горіння дуги через сопло пальника, а присадкового дроту – через наконечник мундштука. Вуглекислий газ захищає рідкий метал від контакту з азотом і киснем, які містяться у повітрі, та водночас проходить інтенсивне вигорання, легувальних елементів, вуглецю, що супроводжується появою дефектів наплавленого шару (рис. 2.3). Аби запобігти появі цього недоліку застосовують леговані електродні матеріали, які містять розкислювачі (кремній, марганець).

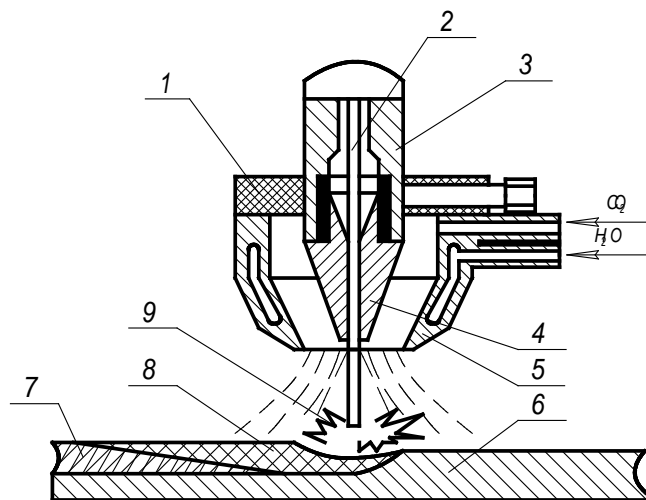


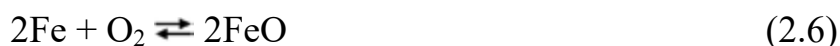
Рис. 2.3. Схема наплавлення у середовищі вуглекислого газу: 1 – мундштук; 2 – електродний дріт; 3 – мундштук; 4 – наконечник. 5 – сопло; 6 – деталь; 7 – наплавлений шар; 8 – зварювальна ванна рідкого металу; 9 – електрична дуга

Електродний дріт безперервно подається у зону наплавлення. Струм до дроту підводиться через наконечник, розміщений всередині мундштука. Під дією високої температури електричної дуги на поверхні деталі утворюється рідка ванна, в якій перемішуються метали електрода і деталі. У зону наплавлення через сопло пальника надходить вуглекислий газ, який захищає рідкий метал від контакту з киснем повітря. З одного боку вуглекислий газ захищає метал від навколишнього

середовища, з іншого розкладається при високій температурі дуги і окислює розплавлений метал:



Під час наплавлення високовуглецевої сталі окислення відбувається від взаємодії вуглекислого газу і кисню із залізом:



Ці процеси супроводжуються інтенсивним вигоранням вуглецю, легувальних елементів, появою пор у наплавленому шарі. Для усунення цього рекомендується застосовувати електродний дріт, що містить кремній і марганець, за допомогою яких відбувається розкислення наплавленого металу і видалення окисів із зварювальної ванни:



Витрата вуглекислого газу залежить від діаметра електродного дроту. На витрату газу також впливають швидкість наплавлення, конфігурація виробу й наявність руху повітря. Для нормального захисту зони наплавлення від повітря необхідно витратити близько 600 л вуглекислого газу на годину при струмі зварювання $I_{зв} = 200$ А.

При зварюванні деталей застосовують електродний дріт марок Св 08ГС, Св 08М2С, Св 12ГС, а при наплавленні деталей легований дріт марок Св 18ХГСА, Нп-30ХГСА, Нп-65Г.

Наплавлення дротом Нп-30ХГСА забезпечують одержання наплавленого металу твердістю HRC 30 - 35. При використанні дроту Нп-65Г твердість наплавленого металу підвищується до HRC 50

Режим наплавлення визначається тими ж параметрами, що і при наплавленні під шаром флюсу.

Наплавлювання в середовищі вуглекислого газу виконують за постійного струму зворотної полярності. Сила струму наплавлення визначається діаметром електродного дроту (площею поперечного перерізу електрода):

$$I_H = 40 \cdot \sqrt[3]{D_D}, \text{ А}; \quad (2.9)$$

напругою:

$$U = 21 + 0,04 I_H, \text{ В}; \quad (2.10)$$

коефіцієнтом наплавлення:

$$\alpha_H = 2,3 + 0,065 \frac{I_H}{d_e}, \text{ г/А год}, \quad (2.11)$$

де d_e – діаметр електродного дроту, мм (приймається з таблиці);

швидкість подачі електродного дроту встановлюють з таким розрахунком, щоб у процесі наплавлення не було короткого замикання й обриву дуги:

$$v_e = \frac{4 \cdot \alpha_P \cdot I_H}{\pi \cdot d^2 \cdot \gamma_e}, \text{ м/год}, \quad (2.12)$$

де γ_e – питома маса електродного дроту, г/см³ (для дроту із суцільним перерізом $\gamma_e = 7,8$ г/см³);

α_P – коефіцієнт розплавлення дроту ($\alpha_P = \frac{\alpha_H}{\eta}$);

η – коефіцієнт врахування втрат металу на випалювання і розбризкування (для наплавлювання в середовищі вуглекислого газу $\eta = 0,88 \dots 0,92$).

Виліт електродного дроту:

$$H = (6 \dots 10) d_e, \text{ мм}; \quad (2.13)$$

зміщення електрода від зеніту:

$$a = (0,05 \dots 0,1) D_D, \text{ мм}; \quad (2.14)$$

швидкість наплавлювання встановлюють залежно від товщини і якості формування наплавлюваного шару:

$$v_H = \frac{\pi \cdot d_e^2 \cdot v_e}{4 \cdot S_H \cdot h_H} \eta, \text{ м/год} \quad (2.15)$$

де $S_H = (2 \dots 2,5) d_e$ - крок наплавлення, мм. Кожний наступний валик повинен перекривати попередній не менше ніж на 1/3 його ширини.

Частота обертання деталі:

$$n = 5,31 \frac{v_H}{D_d}, \text{ хв}^{-1}. \quad (2.16)$$

Режими процесу наплавлення уточнюються з рекомендованими та коригуються при пробному наплавленні.

Режими наплавлення у вуглекислому газі в порівнянні з наплавленням під шаром флюсу мають деякі розходження за величиною. Діаметр електродного дроту рекомендується застосовувати не більш 0,8 - 2 мм. Силу зварювального струму встановлюють у залежності від діаметра електродного дроту в межах 70 - 220 А, а напруга дуги в межах 18 - 22 В. Швидкість наплавлення може бути значно підвищена в порівнянні з наплавленням під шаром флюсу до 80 - 100 м/год і більше. Витрата вуглекислого газу залежить від сили струму зварювання і встановлюється в межах 8 - 15 л/хв.

При відновленні деталей в середовищі вуглекислого газу використовують головки А-384, АБС, А-580, підігрівач і осушувач газу, джерела живлення ВС-200, ВСУ-300, ПСГ-300, ПСГ-500, редуктор витратомір (ДРЗ-1-5-7) або ротаметри.

Під час наплавлювання в середовищі вуглекислого газу CO_2 застосовують режими залежно від діаметра деталі, величини її зношування та фізико-механічних властивостей поверхонь деталей.

Сила струму 70 - 140А, напруга 16 - 25 В, швидкість наплавлення 30 - 40 м/год зміщення електрода із zenіту 4 - 6 мм, крок наплавлення 2,5 3,5 мм, виліт електрода 16 - 20 мм, витрата CO_2 – 360 - 480 л/год.

Перевагами наплавлювання у середовищі захисних газів є висока продуктивність процесу, відсутність шлакової кірки, високий ступінь щільності

дуги, що знижує нагрівання деталі та її деформування, уможлиблює наплавлення деталей малого діаметра (до 10 мм), тонкостінних, із невеликими спрацюваннями, низька собівартість робіт, можливість відновлення деталей складної форми, здійснення багатошарового наплавлення тощо.

До числа недоліків цього способу наплавлення варто віднести: підвищене розбризкування металу, підвищена схильність наплавленого шару до утворення тріщин, необхідність застосування легованого дроту для одержання наплавленого металу з необхідними властивостями.

Іноді замість вуглекислого газу для захисту зони зварювання застосовують пар. У цьому випадку виготовляють нове сопло пальника, що відрізняється тим, що у внутрішній частині зроблена кільцева порожнина для збору конденсату. Пара значно дешевша від флюсу і вуглекислого газу, але наплавлений шар може мати пори і тріщини. Тому пар застосовують для наплавлення невідповідальних деталей: для наплавлення бігових доріжок ланок гусениць, опорних котків, натяжних коліс тощо.

2.1.4. Зварюваність чорних металів

Зварюваність матеріалів – властивість металу утворювати зварні сполуки із близькими у шві механічними властивостями до основного металу.

Розрізняють металургійну, технологічну і експлуатаційну зварюваність.

Під металургійною розуміють процеси, які протікають в зоні зварювання деталей.

Під технологічною розуміють отримання з'єднань певним способом.

Під експлуатаційною – міцність і пластичність зварних з'єднань при певних умовах навантаження. Сталі за зварюваністю поділяють на чотири групи (за можливістю утворення тріщин і механічними властивостям зварного з'єднання).

В першу групу входять, які добре зварюються сталі (Ст.1 - Ст.6, сталі 08, 10 - 15; 20 - 25) та низьколеговані 15Х; 15ХГ; 12ХН2; Е-34 і Е-42, Е-46.

До другої групи відносяться задовільно зварювальні сталі (сталі 30 і 35, низьколеговані із вмістом вуглецю 0,3 - 0,35% 20ХН3А, 20ХГСА і 30Х і

високолеговані 12Х14А; 9Х14А) необхідна термообробка, електроди У-45; У-50, а також наплавочні ЭН-250; ЭН-300.

Третя група сталі, які обмежено зварюються з утворенням тріщини (вуглецеві 40, 45, 50, низьколеговані із вмістом вуглецю до 0,45% 30ХГС; 40ХМЮ; 45Л, високолеговані 20Х18Н9; 36Х18Н25С2). Обов'язкова термообробка: електроди У-50, У-55, ЭН-300, ЭН-350.

До четвертої – сталі, які погано зварюються сталі важко піддаються зварюванню, низько- середньо і високолеговані 50Г, 50ХГСА, 18ХН3А. Електроди 12АН- МЕНВТ ,Т-590; Т-620, ЭН-400. Нагрів попередній до 200-300°С і наступна термообробка.

2.1.5. Зварювання чавуну, відновлення чавунних деталей

Загальні відомості про чавуни. У виробництві сільськогосподарської техніки чавун має досить широке поширення. Він використовується для виготовлення базових, корпусних та інших деталей, наприклад, блоків циліндрів, картерів, маховиків, гальмівних барабанів, шківів, маточин коліс і ін. Найбільшого поширення при відновленні чавунних деталей отримало електродугове зварювання.

Чавун належить до важкозварюваних матеріалів. Ці труднощі обумовлені наявністю великої кількості вільного вуглецю і структурою самого матеріалу. В процесі відновлення зварюванням, вільний вуглець частково вигорає з утворенням вуглекислого газу, який розчиняється в розплавленому металі. Деяка частина газу не встигає виділитися з зварного шва, що приводить до утворення пористості. Крім того, деталі з чавуну після експлуатації затримують в порах (своєрідних капілярах) залишки масел, які при нагріванні вигорають і також приводять до утворення пористості в металі шва. Це знижує фізико-механічні характеристики матеріалу зварного з'єднання.

Чавун має високу рідкотекучість і дуже швидко переходить з рідкої фази в тверду, міняючи пластичний стан. При швидкому охолодженні зварювальної ванни в шві або навколошовній зоні може утворюватись цементит (Fe_3C), який має високу твердість і практично нульову пластичність. Таке явище отримало назву відбілу

чавуну в процесі зварювання. Відбіл приводить, як правило, до виникнення великих внутрішніх напружень і тріщин в зварювальному шві або навколошовній зоні.

Тому для отримання якісного зварного з'єднання при відновленні чавунних деталей необхідно виконання особливих заходів і прийомів, спрямованих, в першу чергу на попередній нагрів деталей до початку зварювання, охолодження наплавленого металу із заданою швидкістю, використання спеціальних електродів з нижчою температурою плавлення, ніж основний матеріал тощо.

Вибір способу і прийомів зварювання чавунної деталі залежить від її розмірів, форми, структури, характеру і місця розташування дефекту, наявності тих чи інших зварювальних матеріалів та інших чинників. У ремонтному виробництві в залежності від стану відновлюваної деталі використовують, в основному, два способи зварювання чавуну: холодний і гарячий.

Холодне зварювання чавуну. Це зварювання найбільш широко використовується при відновленні деталей. При даному способі використовують спеціальні зварювальні матеріали або певні прийоми, наприклад, спосіб відпалювання валиків, постановкою додаткових деталей тощо.

Одним з основних завдань при відновленні чавунних деталей холодним зварюванням є отримання швів з мінімально можливою кількістю малопластичних цементиту і ледебуриду. Електродні матеріали для зварювання та наплавлення чавуну без попереднього підігріву деталі розроблялися, в напрямку отримання металу шва з достатньою мірою пластичності, який не утворював би нагартованих структур при великих швидкостях охолодження. Необхідна пластичність матеріалу шва досягається підбором електродного металу з великим значенням межі текучості в порівнянні з основним матеріалом, а також завдяки зменшенню кількості вуглецю в наплавленому шарі (з підвищенням кількості вуглецю підвищується ймовірність утворення ледебуриду і мартенситу). Однак в процесі зварювання уникнути перемішування присадкового металу з основним не вдається, тому як електродний матеріал використовують метали і сплави, що не утворюють карбідів з вуглецем (мідь, нікель тощо). Так, під час зварювання високонікелевими електродними матеріалами виникають сприятливі умови для дифузії нікелю в зону неповного розплавлення через великий градієнт концентрації цього елемента і

великого коефіцієнта дифузії в рідкому розплаві в порівнянні з іншими елементами.

Для попередження утворення карбідів на межах сплаву, коли зварювання ведеться на режимах з малою питомою енергією (без наскрізного проплавлення), застосовують електродні матеріали з вмістом нікелю понад 90%.

У ремонтному виробництві для відновлення чавунних деталей найбільшого поширення отримало механізоване зварювання самозахисним електродним дротом на основі нікелю ПАНЧ-11, який розроблено в Інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона. Даний вид зварювання чавуну забезпечує високу якість і продуктивність, дозволяє відновлювати різноманітні за формою і розмірами чавунні деталі сільськогосподарських машин.

Розглянемо усунення основних вибракувальних дефектів чавунних корпусних деталей. Після дефектації при виявленні тріщин або пробоїн, деталь надходить в слюсарно-механічне відділення, де її готують до відновлення зварюванням електродним дротом ПАНЧ-11. Поверхню з тріщиною зачищають за допомогою шліфувального круга електро- або пневмошліфувальною машиною до металічного блиску по обидві сторони тріщини на 8 - 10 мм. На кінці тріщин свердлять наскрізні отвори діаметром 3 - 4 мм, відступивши 4 - 6 мм від видимого кінця тріщин в напрямку її розвитку. Після зачистки поверхонь виконують оброблення тріщин (рис. 2.4), причому, наскрізні тріщини в тонких стінках – з одного боку (рис. 2.4, а), в товстих (товщина стінки більш за 12 мм) – з двох сторін (рис. 2.4, в). Стінки середньої товщини обробляють, як показано на рис. 2.4, б. Наскрізні тріщини обробляють до суцільного металу. Операцію оброблення тріщин виконують фрезеруванням з використанням ручної свердлувальної пневматичної машини ПП-1011.

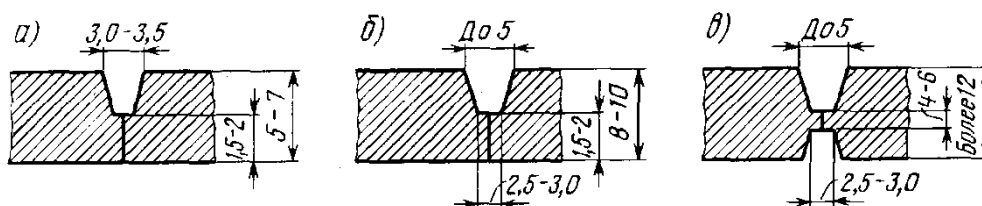


Рис. 2.4. Підготовлення тріщин до зварювання

При обробці прорізним шліфувальним каменем застосовують

пневмошліфувальну машину ПП-2009А. Зварювання дротом ПАНЧ-11 виконується на постійному струмі прямої полярності без додаткового захисту газом або флюсом. При зварюванні чавуну дротом ПАНЧ-11 рекомендуються такі режими: діаметр дроту – 1,2 мм, зварювальний струм – 80 - 180 А, напруга дуги – 14-18 В, швидкість подачі дроту – 120 м / год, швидкість зварювання – 4 - 5 м / год.

Невеликий діаметр дроту ПАНЧ-11 дає можливість використовувати оброблення крайок до 5 мм, що дозволяє зменшити тепловкладення в деталь і звужує зону структурних перетворень в основному металі. При даному виді зварювання метал шва має досить високі механічні характеристики: межа міцності - до 500 МПа, межа текучості – до 300 МПа, подовження – до 25%, твердість – НВ 160 - 180. На невеликій ділянці навколошовної зони спостерігається підвищення твердості до НВ 280 - 310. При випробуванні на розтягнення зразки руйнуються, як правило, по чавуну.

Для зварювання можна використовувати один з серійних шлангових напівавтоматів типу А-547, А-825, „Варіо-Стар” 240 тощо.

Техніка зварювання наступна. Тріщини заварюють ділянками довжиною 30 - 50 мм з проковуванням і охолодженням кожної ділянки до температури 50 - 60°C. Латки на пробоїни в деталях приварюють врозки ділянками довжиною 50 - 60 мм по контуру латки. Наступну ділянку на латці починають обварювати після проковування і охолодження попередньої до температури 50 - 60 ° С.

Для холодного зварювання чавуну знайшли застосування мідно-залізні електроди ОЗЧ-2, які виготовляють з мідного стрижня з фтористокальцієвим покриттям з добавкою до нього 50% залізного порошку. Ці електроди застосовують для заварювання тріщин в водяних сорочках блоків циліндрів двигунів, головках блоків тощо. Зварювання ведуть короткою дугою на постійному струмі зворотної полярності з перервами на проковування (для зниження внутрішніх напружень і підвищення щільності шва) і охолодження деталі до температури 50 - 60°C. Силу зварювального струму для електродів діаметром 3 - 5 мм вибирають в межах 110 - 190 А.

Мідь, як і нікель, не утворює сполук з вуглецем і практично не розчиняється в сплаві. Тому наплавлений шар неоднорідний, в мідній основі розташовані

включення високовуглецевої сталі з високою твердістю. У навколошовній зоні спостерігаються ділянки відбілу. Шов має високу твердість. Таким чином, наплавка електродами з мідними стрижнями не забезпечує отримання зварного з'єднання вільного від отбела і закалених перехідних зон. Міцність сплаву зварного шва становить 50 - 60% міцності основного матеріалу. Тому при зварюванні електродами ОЗЧ-2, з огляду на знижену міцність чавуну в навколошовній зоні, необхідно застосовувати посилення шва, захоплюючи частину деталі, прилеглу до крайки.

Вища якість відновлення досягається при холодному зварюванні чавуну електродами МНЧ-2, виготовленими з монель-метала (28% міді, 2,5% заліза, 1,5% марганцю, інше – нікель). Зварений шов при цьому пластичний, має малу твердість, не має пор і раковин, зона відбіла практично відсутня, зона загартованого чавуну має невисоку твердість, яка може бути знижена невеликим відпуском. Однак твердість і міцність металу зварного шва невисока. Електродами МНЧ-2 усувають практично всі дефекти, які зустрічаються в деталях з чавуну: тріщини, пробої, сколи, обломи тощо.

З метою економії дорогих електродів з монель-метала і отримання матеріалу шва більш високої якості іноді застосовують комбіноване зварювання в поєднанні з електродами ОЗЧ-2. При такому варіанті перший і останній шари наплавляють електродами МНЧ-2, а проміжні варять електродами ОЗЧ-2.

При відсутності спеціальних зварювальних матеріалів, розглянутих вище, допускається проводити холодне зварювання чавуну сталевими електродами з вмістом в них вуглецю не більш як 0,1%, наприклад, марок УОНИ-13/45 або ОММ-5. В такому випадку застосовують спеціальний спосіб, який отримав назву зварювання накладенням відпалювальних валиків (рис. 2.5).

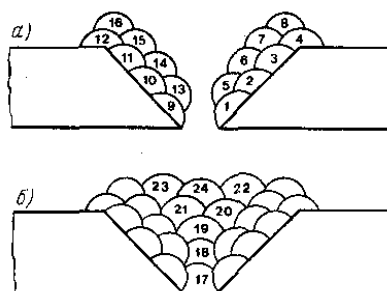


Рис. 2.5. Схема зварювання тріщин способом відпалювальних валиків: а)

обварювання крайок; б) накладення з'єднувальних валиків; 1 - 24 – послідовність накладення валиків

За такого способу перший валик, що накладається на чавун, через перемішування основного матеріалу з матеріалом електрода являє собою сталь з вмістом вуглецю 0,6 - 0,8%. При охолодженні, шов з таким високим вмістом вуглецю гартується. Наступні зварювальні валики накладають на перші таким чином, що відбувається відпал нижніх шарів. Це дозволяє отримати відносно невисоку твердість зварювального шва. Перед зварюванням тріщину формують так, аби її ширина у верхній частині в 2 - 3 рази перевищувала товщину деталі, яка зварюється. Спочатку виконують обварювання крайок, а потім заповнюють оброблення. Після зварювання накладенням відпалювальних валиків матеріал шва за хімічним складом є високовуглецевою сталлю з неоднорідною структурою. Даний спосіб відрізняється низькою продуктивністю, невисокою якістю і вимагає підвищеної витрати електродів.

Для зниження трудомісткості робіт тривалість нагрівання деталей скорочують через зниження температури нагріванням до 250 - 400° С – напівгаряче зварювання. Повільне охолодження після зварювання дозволяє запобігти виникненню зон відбілювання, виключаючи тим самим появу дефектів наплавленого металу і побіля шовних зон.

Напівгаряче зварювання поділяють на газове і електродугове. Для їх реалізації застосовують присадковий матеріал чавунні прутки марки А і порошкові сплави НПЧ-1, НПЧ-3, НПЧ-4. Використання порошкових сплавів забезпечує високу міцність шва, можливість обробки лезвійним інструментом. Найкращу щільність мають наплавлені шви отримані напівгарячим зварюванням електродами ЭЧ-1 – чавунні і сталеві із захисними покриттями ОММ-5, МР-3, К-5, УОНИ-13/45. Для такого зварювання, а також наплавлення порошковими дротами ПП АНЧ-2, ПП АНЧ-5 і ППВЧ-1 із утворення напіврідкої ванни. Цей спосіб застосовують для усунення тріщин великої протяжності із товщиною стінок 15 мм і більше.

Низькотемпературне пайко-зварювання виконують газополуменевим способом із застосуванням чавунних і латунних припоїв. Підготовлену тріщину нагрівають до $t=800 - 820^{\circ} \text{C}$, до неї вводять флюс, а потім розплавляють присадний

матеріал заповнюючи тріщину. Флюси ФСЧ-2, ФПСН-2, МАФ-1. Прутки НЧ-1 - тонкостінні, НЧ-2- товстостінні. Латунні припої ЛОМНА 49-1-10-02; ЛОК 59-1-03; Л-3 – застосовують при усуненні: невеликих тріщин, обломів, раковин. Висока вартість і низька стійкість спрацювання.

Для відновлення розмірів поверхонь тертя в ІЕЗ ім. Є. О. Патона розроблена самозахисний порошковий дріт марки ПП-АН160 діаметром 1,6 мм. Дріт використовується для наплавлення зношених шийок колінчастих валів, виготовлених з високоміцного чавуну ВЧ-50-2. Наплавлення проводиться з поперечними на всю ширину шийки коливаннями електрода. Наплавлений шар являє собою білий зносостійкий чавун доевтектичного складу з твердістю HRC 48 - 54. Застосування самозахисного порошкового дроту дозволило виключити флюс або захисний газ, що значно знизило трудомісткість і собівартість процесу.

Розроблену технологію із використанням способів дугового наплавлювання в ремонтному виробництві відрізняє добре сформований наплавлений шар високої макрхімічної однорідності з низькою схильністю до утворення тріщин. Це пояснюється тим, що швидкість поширення температурного поля в тіло шийки вища за швидкість наплавлювання, а це сприяє явищу автопідігріву.

Істотні відмінності у взаємному розташуванні корінних і шатунних шийок вала визначили доцільність проведення наплавлення на двох спеціалізованих верстатах УД-289 і УД-290. Основні параметри процесу (швидкість подачі дроту, частота коливань, швидкість наплавлення тощо.) знаходяться у взаємній функціональній залежності та встановлюються один раз при налаштуванні верстата. Як джерело живлення застосовують зварювальні випрямлячі з жорсткою зовнішньою характеристикою ВДУ-В04, ВДУ-505, ВС-300 тощо. Струм – постійний, полярність зворотна.

Описана технологія використовується для відновлення чавунних колінчастих валів автомобілів. До недоліків даного процесу слід віднести вкорочення колінчастого вала після наплавлення на 2 - 3 мм.

Гаряче зварювання чавуну. Це зварювання полягає в тому, що деталь попередньо нагрівають до температури 650 - 680°C в печі і в такому стані усувають дефекти зварюванням і наплавленням. Використовують електродугове і газове

зварювання. Як присадковий матеріал застосовують чавунні прутки марки А, хімічний склад яких характеризується підвищеним вмістом вуглецю і кремнію. Це необхідно для компенсації випаровувань при зварюванні і забезпечення повної графітизації металу шва.

При зварюванні використовують спеціальний флюс ФСЧ-1, допускається застосування технічної бури і 50% суміші вуглекислого калію або натрію. У процесі зварювання не можна допускати зниження температури деталі нижче 500°C. Після закінчення зварювання деталь охолоджують в спеціальних термосах або разом з піччю зі швидкістю 50 - 100°C в годину для нормалізації і зняття внутрішніх напружень.

При гарячому зварюванні спостерігається найкраща якість відновлення деталі – зварений шов міцний, щільний, однорідний за хімічним складом та структурою, відсутні дендритні структури вибіленого чавуну. Однак висока трудомісткість і вартість відновлення, а також важкі умови праці зварювальника обмежують використання даного способу. З цієї причини на ремонтних заводах зараз гаряче зварювання і наплавлення деталей з чавуну практично не використовується.

2.1.6. Загальні характеристики способів механізованого зварювання та наплавлювання

Механізація зварювально-наплавлювальних робіт одночасно допомагає розв'язати дві головні задачі: покращити якість зварювального шва або наплавлювального шару металу та підвищити продуктивність праці.

Механізація зварювально-наплавлювальних операцій передбачає: попереднє повздовжнє переміщення електрода відносно поверхні деталі та регулювання частоти її обертання на спеціалізованих установках і верстатах. Розглядають напівавтоматичне наплавлювання з механізованою подачею лише електрода та автоматичне з механізованими подачею електрода, змінюванням частоти обертання деталі та її повздовжнє переміщення.

Режим наплавлювання формує геометричні параметри наплавленого шару (висоту валика, перекриття валиків, їх геометричну форму) та якість наплавлювання

металу.

Висота наплавлювання h_n має повністю компенсувати зношений шар з врахуванням його максимальної величини і припуску на механічне оброблення:

$$h_n = U_{max} + Z, \quad (2.17)$$

де U_{max} – величина максимального зношування, мм;

Z – припуск на оброблення, мм.

Щільність наплавлюваного шару, згладжування нерівностей (для зменшення припуску на механічне оброблення та умов його реалізування) забезпечується створенням перекриття кожним попереднього валика наступним на 0,3-0,5 його ширини. Величина перекриття $t_{пер}$ залежить від кроку наплавлення s_n , що визначається повздовжньою подачею електрода за один оберт деталі.

В процесі наплавлювання вибір флюсу і електродного матеріалу визначає діапазон зміни фізико-механічних властивостей металу.

При заварюванні отворів малого діаметра в масивних деталях для забезпечення необхідного проварювання рекомендується вибирати силу струму на 10-15% більше, ніж звичайно за ТУ.

Напруга дуги змінюється в межах 16-30 В.

Діаметр електрода вибирають в залежності від товщини зварюваного металу:

Товщина металу, мм 0,5-1,0 1,0-2,0 2,0-5,0 5,0-10,0 понад 10

Діаметр електрода, мм 1,0-1,5 1,5-2,5 2,5-4,0 4,0-6,0 5,0-8,0

Швидкість зварювання вибирається виходячи з необхідності проплавлювання зварюваного перетину і заповнення оброблення крайок наплавленим металом (при розрахунках приймають $v = 5 - 7$ м/год).

При значній товщині деталей шов формують в декілька рядів. Дуга повинна бути максимально короткою, оскільки із збільшенням її довжини якість шва погіршується.

При наплавленні цементованої або загартованої деталі її попередньо відпалюють. Для цього її нагрівають до 900°C, а потім повільно охолоджують. Відпустка зменшує твердість матеріалу, опір розриву і межа пружності, але збільшує в'язкість, що дозволяє підвищити якість наплавлення. Після наплавлення і

механічної обробки деталей можна знову піддати цементації і загартування для відновлення її початкової твердості.

Підвищення продуктивності праці і поліпшення якості наплавлення при відновленні сталевих деталей забезпечується при застосуванні насиченого воднем дроту. Для цього електродний дріт трують в 5 - 10% -ому розчині сірчаної кислоти. Швидкість наплавлювання таким дротом підвищується приблизно в 2 рази. Зварювання травленим дротом проводиться при постійному струмі зі зворотною полярністю.

Недоліками ручного дугового зварювання і наплавлення є відносно низька продуктивність, залежність якості робіт від кваліфікації зварника, підвищена витрата електродів через неповне їх використання, розбризкування і вигорання розплавленого металу. Більш продуктивними є механізовані електродугові способи зварювання і наплавлення в захисних твердих, газоподібних і рідких середовищах.

2.2. Наплавлювання під шаром флюсу

Наплавлюванням під шаром флюсу відновлюють і зміцнюють деталі із зношуванням до 3 - 5 мм. Джерелами постійного струму служать зварювальні перетворювачі і випрямлячі із пологоспадальною і жорсткою характеристикою, розраховані на наплавлювальний струм до 300 - 900 А.

Для наплавлювання під шаром флюсу застосовують сталевий зварювальний дріт діаметром 0,1 - 3 мм без захисного покриття. Вибір марки дроту залежить від умов роботи деталі й вимог щодо фізико-механічних властивостей металу, з якого вона виготовлена. Наприклад, дроти Св-0,8; Св-08А, Св-08ГА, Св-08ГС, Св-08Г2С обирають для наплавлювання поверхонь деталей, виготовлених з низьковуглецевих сталей, а Нп-40; Нп-65Р; Нп-30ХГСА; Нп-18ХГСА, Нп-20ХГТА –із легованих і вуглецевих тощо.

До флюсу для автоматичного і напівавтоматичного зварювання пред'являють ряд таких вимог:

- забезпечення стабільності горіння дуги в процесі зварювання;
- отримання заданого хімічного складу наплавленого металу;

- забезпечення необхідного формування металу;
- отримання швів без тріщин та із мінімальним (допустимим) числом шлакових включень і пористістю;
 - забезпечення легкої відокремлюваності шлакової кірки від поверхні наплавленого металу.

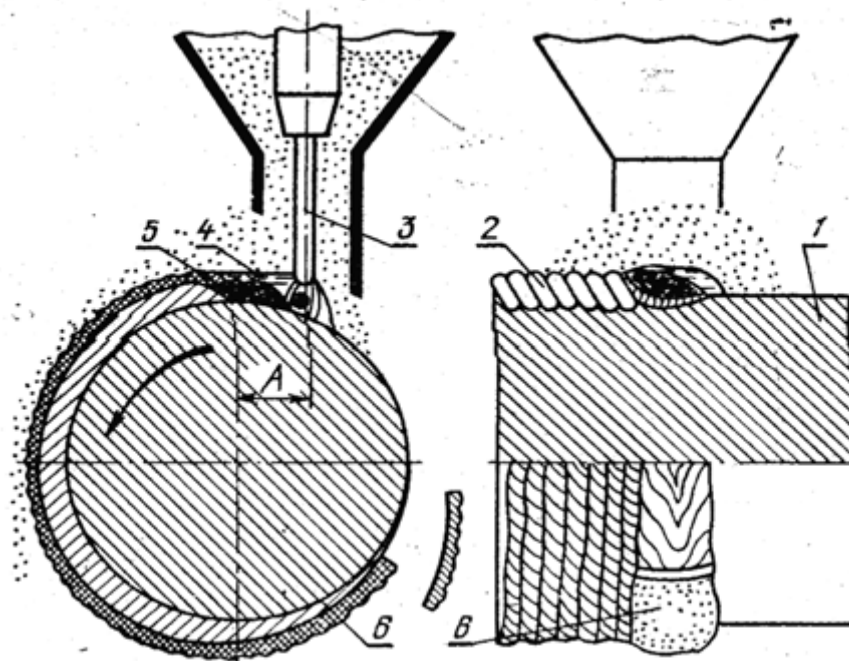


Рис. 2.6. Наплавлювання під шаром флюсу: 1 – деталь; 2 – наплавлений шар; 3 – електрод; 4 – розплавлений флюс; 5 – ванна розплавленого металу; 6 – шлакова кірка; А – зміщення електрода із zenіту

Вирішення цих завдань пов'язане із складом зварюваного матеріалу і електродного дроту. Тому використовуються для наплавлення флюси дуже різноманітні.

Хімічний склад наплавленого металу формується в результаті розплавлення основного і електродного матеріалів, а також залежить від міри захисту від повітря. Міра захисту від повітря визначається шлаковим куполом, який утворюється в результаті горіння дуги над реакційною зоною і висотою шару твердих частинок флюсу над нею. Висота шару флюсу, який насипають у зварювальну ванну, залежить від параметрів режимів зварювання.

Флюси класифікують за такими основними ознаками.

1. За призначенням:

- флюси загального призначення застосовуються для зварювання та наплавлення вуглецевих і низьколегованих сталей;
- флюси спеціального призначення застосовують для спеціальних способів зварювання, таких як електрошлакове зварювання, зварювання легованих сталей і тощо.

2. За способом виготовлення:

- плавлені – одержувані сплавом шихти в електричних або полум'яних печах;
- неплавлені – виготовлені без розплавлювання шихти.

До неплавленим відносяться флюси, виготовлені подрібненням і змішуванням окремих компонентів, а також керамічні флюси, які отримують змішуванням порошкоподібних шлакоутворювальних, легувальних, розкислювальних та інших компонентів.

3. За хімічним складом: оксидні флюси, що складаються з оксидів металів і фтористих з'єднань, що застосовуються для зварювання і наплавлення вуглецевих і низьколегованих сталей; сольові флюси, які складаються із фтористих і хлористих солей, що застосовуються для зварювання активних металів; солеоксидні флюси, що застосовуються при зварюванні і наплавленні високолегованих сталей.

4. За хімічним складом шлакоутворювальної частини:

кислі флюси, що містять кислі оксиди SiO_2 і TiO_2 ; нейтральні флюси, що містять в основному фториди і хлориди; основні флюси – оксиди основного характеру, такі як CaO , MgO і FeO .

5. За розміром частинок (зерен) флюси діляться на: тонкозернисті (з зерном до 8 мм); дрібнозернисті (0,1 - 1,6 мм); середньозернисті (0,25 - 3,0 мм) і грубозернисті (0,35 - 5,0 мм).

Флюси за способом їх виготовлення поділяють переважно на два види: керамічні і плавлені. Плавлені флюси виготовляють сплавленням компонентів з подальшим подрібненням й гранулюванням маси, отримуючи або дрібнозернисті (0,4 - 2,5 мм), або великозернисті (1,6 - 4,0 мм).

Плавлені флюси містять шлакоутворювальні речовини (плавиковий шпат, польовий шпат, кварц, марганцеву руду тощо), які формують шлакову кірку. Вона покращує формування металу шва та є необхідною для його захисту від окислення в

процесі охолодження.

Розкислювальні і легувальні речовини, що розкислюють зварювальну ванну.

Газоутворювальні речовини (крохмаль, декстрин, дерев'яна мука), що під час нагрівання розкладаються, виділяючи водночас значну кількість тепла.

Іонізуючі речовини (сода, поташ, двоокис титана) утворюють легко іонізуючі гази, що стабілізують горіння дуги.

Плавлені флюси, в порівнянні з керамічними, мають вищі технологічні властивості (кращий захист від повітря, формування наплавного шару, відділення шлакової кірки тощо). Крім того, плавлені флюси дешевші. Однак керамічні флюси дозволяють в ширшому діапазоні легувати наплавлений метал за допомогою елементів, що входять до флюсу. Для механізованого наплавлення найбільш широко використовуються плавлені флюси.

Плавлені флюси розрізняють за змістом в них окисів різних елементів. За кількістю окису кремнію флюси поділяються на: висококремнієві (38 - 44% SiO_2); низькокремнієві (до 0,5 SiO_2); безкремнієві. За змістом окису марганцю на: високомарганцеві (більш як 30% MnO); середньомарганцеві (15 - 30% MnO); низькомарганцеві (менш як 0,5% MnO).

Високремнієві плавлені флюси призначені в основному для зварювання і наплавлення деталей із вуглецевих і низьколегованих сталей. Найбільш широко в ремонтному виробництві для відновлення деталей наплавленням використовують висококремнієві марганцеві флюси ОСЦ-45, ОСЦ-45М, АН-348А і АН-348АМ.

Щоб зменшити окислення металу в результаті його реакцій з флюсом, для зварювання легованих сталей використовують флюси з обмеженою концентрацією окису кремнію і окису марганцю.

Розглянуті плавлені флюси є системами, що складаються з неметалічних складових, окисних і галогенних сполук. Легування наплавленого металу в цих випадках може мати місце тільки в результаті дисоціації сполук, що входять до складу флюсу, або в результаті обмінних реакцій, які супроводжуються або підвищенням в металі концентрації кисню або втратою ним інших корисних легувальних складових. Тому вводити таким способом велику кількість легувальних елементів в наплавлений метал через флюс важко, що обмежується, як правило,

десятьма частками відсотка.

Підвищення якісних показників наплавлювального шару передбачає застосування легованих дротів та порошкоподібних легувальних добавок, які додають у зварювальну ванну. Більш ефективним способом легування через флюси є введення до їх складу вільних металічних складових. У цих випадках флюс являє собою суміш металічних і неметалічних складових. Такі флюси називають керамічними. Склади керамічних флюсів можуть бути вельми різноманітні, що включають різні оксиди, карбонати, нітрати тощо.

Маючи незаперечну перевагу у вигляді можливості широкого діапазону легування наплавленого сплаву, керамічні флюси мають і серйозні недоліки. Здійснюване ними легування пов'язано з кількістю флюсу, що переходить в рідку фазу, а це у великій мірі залежить від зварювального режиму і однорідності хімічного складу флюсу. Це приводить до значної неоднорідності наплавленого металу за хімічним складом. Крім того, до недоліків керамічних флюсів слід віднести низьку механічну міцність і велику гігроскопічність.

Однак, попри зазначені недоліки, керамічні флюси достатньо широко використовуються для відновлення деталей наплавленням. Найчастіше застосовують флюси АНК-18 і АНК-19. Наприклад, хімічний склад металу, наплавленого недорогим низьковуглецевим електродним дротом Св-08 під шаром флюсу АНК-19 містить: 0,49% С; 0,66% Мn; 0,34% Si; 3,15% Cr. При цьому твердість наплавленого металу лежить в межах HRC 45 - 49.

Керамічні флюси, окрім стабілізуювальних і шлакоутворювальних компонентів, містять легувальні добавки (феросиліцій, ферохром, феромарганець, феротитан). Наплавлення з їх застосуванням потребує застосування лише маловуглецевих і низьколегованих дротів. Феросплави, сплавлення яких з іншими компонентами неможливе, виготовляють, додаючи до відповідних компонентів рідке скло. Неможливість сплавлення пояснюється тим, що температура плавлення феросплавів у 1,5 - 2 рази вища, ніж інших компонентів. Отриману масу висушують з подальшим прокалюванням за $T=300 - 400^{\circ}\text{C}$, протягом двох годин і подрібнюють.

Електродний дріт для зварювання під флюсом випускається за державним стандартом, який розмежується на гарячекатаний і холоднокатаний дріт з

вуглецевих, легованих і високолегованих сталей. При цьому вказують, діаметр дроту, хімічний склад, розміри мотків тощо. Отже, необхідні фізико-механічні властивості наплавленого шару отримують поєднанням різних флюсів й електродних матеріалів (табл. 2.1).

Таблиця 2.1. Залежність твердості і відносної зносостійкості від зношування від марки електродного дроту і флюсу

Марка електродного дроту	Марка флюсу	Твердість наплавленої поверхні, HRC	Коефіцієнт відносної стійкості
Нп-80	<i>АН-348А</i>	34-35	1,24
Нп-80	<i>АН-60</i>	42-43	1,34
НП-2Х14	<i>АН-28</i>	48-50	1,66
Ст. 20	<i>АН-348А</i>	17-27	1,08
Нп-50	<i>АН-348А</i>	28-29	1,18
Св-18ХГСА	<i>АН-348А</i>	24-26	1,20
Св-08Г2С	<i>АН-348А</i>	20-22	1,06

Приблизний хімічний склад матеріалу дроту можливо визначити за буквами і цифрами, які входять в позначення марки дроту. Зварювальний дріт має індекс „Св”, а наплавлювальний „Нп”. Цифри вказують середній вміст вуглецю в сотих частках відсотка. Марку дроту вибирають відповідно до хімічного складу зварюваної сталі. Наплавлювальний дріт при наплавлюванні під шаром флюсу поділяють на три групи: з вуглецевої сталі типу Нп-30, Нп-40, Нп-80, всього 8 марок; з легованої, наприклад Нп-30Х5, Нп-30ХГСА, всього 11 марок; з високолегованої сталі, наприклад Нп-4Х13, Нп-45Х4В3Ф, Нп-45Х2В8Т, всього 9 марок.

Для наплавлення під шаром флюсу використовують також і порошкові дроти марки ПП-3Х2В8, ПП-10ХВ14.

Для підвищення продуктивності процесу наплавлення під флюсом останнім часом в якості наплавлювального електродного матеріалу використовують суцільні або порошкові стрічки товщиною 0,3 - 1 мм і шириною 20 - 100 мм.

Режими наплавлення. Якість наплавленої деталі багато в чому визначається режимами наплавлення, які характеризуються розміром зварювального струму,

напругою, родом струму і його полярністю, швидкістю зварювання, діаметром і швидкістю подачі електродного дроту. Додатковими параметрами режиму є: виліт електрода, його нахил щодо поверхні деталі, марка флюсу тощо.

Параметри режиму наплавлення вибирають виходячи з: величини зносу, товщини шару наплавлюваного металу, розмірів деталі, необхідної форми наплавлюваного валика. Режим зварювання обирають за експериментальними таблицями або розрахунком. При зварюванні на постійному струмі глибина проплавлювання буде залежати і від полярності, що пояснюється різною температурою на катоді і аноді дуги.

Рекомендовані режими в залежності від діаметра відновлюваної деталі електрода наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2. Залежність режиму наплавлення під шаром флюсу від діаметра відновлюваної деталі

Діаметр, мм		Зміщення від зеніту, мм	Крок наплавлення, мм	Сила струму, А	Швидкість, м/год	
деталі	електродного дроту				подачі електродного дроту	наплав- лення
50—60	1,6	2—4	3	140—150	75—80	16—24
61—75	1,6	3—4	3,5	170—180	110—115	15—28
76—100	2	5—7	4,5	180—200	125—130	16—32
101—200	2—3	8—10	5,6	220—250	160—170	16—32
201—300	2—3	10—15	6,7	250—280	180-190	16—36

При наплавленні деталей, особливо таких, у яких довжина значно перевищує діаметр поверхні, яку наплавляють, необхідно прагнути до мінімальної глибини проплавлення основного металу. Це дозволяє зменшити деформацію деталі і зону термічного впливу, а також знизити ймовірність утворення тріщин в наплавленому металі. Тому під час призначення режимів наплавлювання вибирають, як правило, мінімально допустимий зварювальний струм. Крім того, збільшення діаметра

електродного дроту при незмінному зварювальному струмі також зменшує глибину проплавлення і збільшує ширину шва пов'язану з ефектом блукання дуги.

При зварюванні на постійному струмі зворотної полярності (мінус на деталь) глибина проплавлення на 40 - 50% менше, ніж при зварюванні струмом на прямої полярності. У певних межах глибину проплавлення можливо змінювати, регулюючи виліт електрода. Зі збільшенням вильоту електрода інтенсифікується його підігрів і відповідно швидкість плавлення, в результаті чого товщина розплавлення під дугою збільшується і глибина проплавлення зменшується.

Ширину наплавленого валика регулюють вибором діаметра електродного дроту і зміною напруги дуги, при збільшенні напруги зростає довжина дуги, в результаті чого збільшується її рухомість і зростає частка теплоти дуги, що витрачається на розплавлення флюсу. При цьому зростає ширина валика наплавленого металу, а глибина проплавлення залишається майже незмінною.

Устаткування. Для відновлення деталей наплавленням під шаром флюсу найбільш широко використовується спеціальна установка УД-209. Наплавлення здійснюється методом гвинтового або прямолінійного накладення наплавлювальних валиків на поверхню деталі. Установка забезпечує практично всі види наплавлювальних робіт:

- наплавлення циліндричних поверхонь по спіралі з кроком наплавлення від 2,8 до 12,6 мм;
- наплавлення деталей з коливаннями електрода на ширину наплавленої поверхні (до 60 мм);
- лінійне наплавлення;
- наплавлення конусних поверхонь.

На установці можлива наплавка деталей діаметром від 25 до 360 мм і довжиною від 100 до 800 мм. Як електродний матеріал використовують дріт суцільного і порошкового січення діаметром 1,2 - 3,2 мм.

Наплавлювальна установка живиться від універсального зварювального випрямляча ВДУ-506 УЗ, що має крутоспадальні і жорсткі (полоспадальні) зовнішні характеристики, Даний випрямляч має напругу холостого ходу не більш як 85 В, номінальна ж робоча напруга для жорстких зовнішніх характеристик 50 В (межі

регулювання – 18 - 50 В), а для спадальних зовнішніх характеристик 46 В (межі регулювання 22 - 46 В). Номінальний струм досягає 500 А. Межі регулювання зварювального струму для жорстких зовнішніх характеристик від 60 до 500 А, для спадальних зовнішніх характеристик від 50 до 500 А.

У ремонтному виробництві для наплавлювання деталей під флюсом достатньо широко використовується автомат А-580М, який являє собою універсальну зварювальну головку полегшеного типу. Його використовують для наплавлення циліндричних деталей діаметром 50 мм електродним дротом діаметром 1,6 - 4 мм. Автомат забезпечує швидкість подачі дроту в межах 78 - 198 м / год. Автоматичну зварювальну головку встановлюють на спеціальних обертачах або переобладнаних токарно-гвинторізних верстатах.

Інститутом електрозварювання ім. Є. О. Патона розроблена серія спеціалізованих верстатів У-652, У-653, У-654, які призначені для наплавлювання під шаром флюсу циліндричних, конічних, шліцьових зовнішніх і внутрішніх поверхонь деталей діаметром 50 - 800 мм і довжиною до 1300 мм.

Для відновлення деталей під шаром флюсу також застосовують наплавляючі головки А-580М, А-874Н, ОКС-1252М, які монтують на обертаючі, а також спеціалізовані верстати - установки: УД-209, У-653, СН-2, ОКС-11200, ОКС-11235. Джерелами живлення застосовують перетворювачі ПС-300 і ПСГ-500, випрямлячі ВС-300, ВДУ-504.

Перевагами методу наплавлювання під шаром флюсу можна визначити забезпечення продуктивності, яка у 5 - 10 разів вища в порівнянні із ручним, можливість формування заданих фізико-механічних властивостей наплавлених поверхонь, зниження енерго- та матеріаломісткості, покращення умов праці зварювальників.

Недоліки полягають у складності утримання флюсу на поверхні деталей діаметром менш як 50 мм, необхідності видалення шлакової кірки, швидкому й глибокому прогріванні, можливому проплавленні стінок, деформуванні деталей та змінюванні фізико-механічних властивостей металу. Застосування згаданого методу є доцільним для деталей, які характеризуються порівняно великим зношуванням ($S_z \geq 2$ мм).

Шляхи підвищення якості механізованого наплавлення

(узгодити вміст після об'єднання)

Суттєво підвищити продуктивність відновлення, яка необхідна при наплавленні великогабаритних деталей із великими площами зношених поверхонь: дробильні барабани, подрібнювальні валики, змішувачі, шнеки тістоподавальних машин тощо, дозволяє багатоелектродне наплавлення при загальному струмопідведенні (рис. 2.7). Нанесення металу здійснюється через тепло, яке виділяється дугою, яка горить між електродами і деталлю і електродами між собою. При цьому існує можливість завдати коливального руху електродотримачу і розширити зону наплавлення. Зміною кількості електродів, їх взаємного розміщення і хімічного складу впливають на якість поверхні.

Зміною кількості електродів, їх взаємного розміщення і хімічного складу впливають на розподіл тепла по ширині наплавлюваного валика, глибину проплавлення і розміри ванни рідкого металу, що формує якість наплавлюваного шару і його фізико-механічні властивості. Особливістю багатоелектродного наплавлення є зміщення коливань електродів за фазою на 180° , що призводить до збільшення тривалості горіння дуги і продуктивності наплавлення майже у два рази.

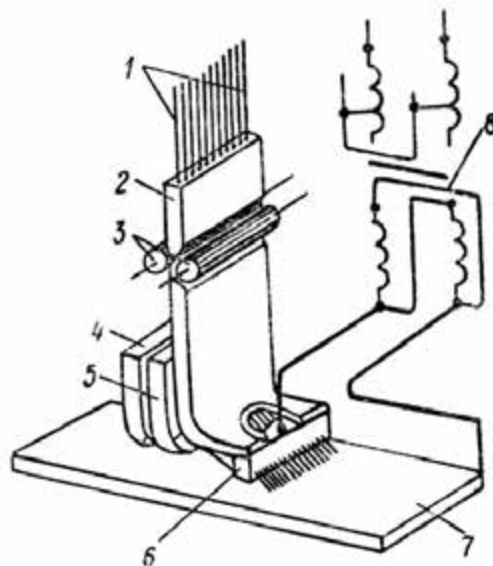


Рис. 2.7. Схема наплавлювальної головки АМН-3 для багатоелектродного наплавлювання:

1 – електродні дроти; 2 – мундштук; 3 – рифлені валики; 4, 5 – дозатори шихти і флюсу; 6 – струмопідвідна колодка; 7 – деталь; 8 – джерело струму

Така особливість процесу збільшує крок наплавлення і зменшує теплову дію на попередньо наплавлені валики, що призводить до одержання рівномірної структури наплавленого шару і поліпшення його механічних властивостей.

Підвищення продуктивності і якості наплавлення досягають застосуванням маловуглецевої сталюї або порошкової стрічки. У випадку використання маловуглецевої сталюї стрічки наплавлення ведуть під шаром флюсу з подачею у зону горіння дуги порошкових легувальних сумішей.

При ширині стрічки 40мм наплавляють на режимі $I = 700 - 900\text{А}$, $U = 40 - 42\text{В}$, $V_e = 110 - 140\text{ м/год}$, $V_n = 18 - 22\text{ м/год}$, виліт електрода $l = 30 - 35\text{ мм}$, товщина шару легувальної суміші 4,5 - 5,5мм. Залежно від складу легувальної суміші твердість наплавленого шару може досягати HRC 50.

Підвищення продуктивності якості наплавлення досягають застосуванням сталюї під шаром флюсу або порошкової стрічки.

У випадку відновлювання під шаром флюсу його здійснюють на режимі: $I = 500 - 850\text{А}$; $U = 35 - 42\text{В}$; $V_{ел.} = 18 - 22\text{ м/год}$; виліт електрода $h = 25 - 30\text{ мм}$.

Застосовують установки У-651; У-653; із спеціальними пристосуваннями для подачі електродів.

2.4. Дугове наплавлення з газополуменевим захистом

Широкі технологічні можливості при відновленні деталей великої номенклатури в умовах ремонтного виробництва має дугове наплавлення з газополуменевим захистом. Спосіб забезпечує наплавлення на деталі щільних шарів із застосуванням доступних і відносно дешевих вуглецевих дротів. Наплавлений високовуглецевими дротами на сталеві деталі метал добре загартовується. Можна також наплавити сталевим низьковуглецевим дротом на чавунні деталі. Наплавлений шар водночас характеризується гарною оброблюваністю.

Особливістю даного способу є те, що захисні гази до зварювальної зони скеровуються двома концентричними потоками: зовнішній потік подає природний газ чи пропан-бутанову суміш, а внутрішній – кисень. Водночас природний газ і

продукти його згорання захищають зону зварювання від проникнення азоту з повітря. Разом з тим вуглецеводневий газ викликає під час зварювання пористість. Негативний вплив газу на щільність наплавлюваного металу зменшується киснем, що подається вузьким внутрішнім потоком у зону дуги. По виходу з пальника газ згоряє, утворюючи полум'я. Таким чином, дуга горить у середовищі газокисневого полум'я.

Для наплавлення з газополуменевим захистом застосовується двосопловий пальник. Газовий пальник кріплять до мундштука таким чином, щоб вісь його збігалася з кінцем електрода на відстані від наконечника, рівній вильоту електрода.

Для захисту від перегріву в процесі наплавлення газовий пальник і головка мундштука мають сорочки водяного охолодження, які включаються послідовно в систему постачання водою.

Для відновлення деталей, які виготовлено із сірих чавунів розроблено новий спосіб - це наплавлювання в газополуменевому захисті. Такий захист запобігає утворенню ледебуритних структур і дозволяє проводити лезову обробку, шарів металу (рис. 2.8).

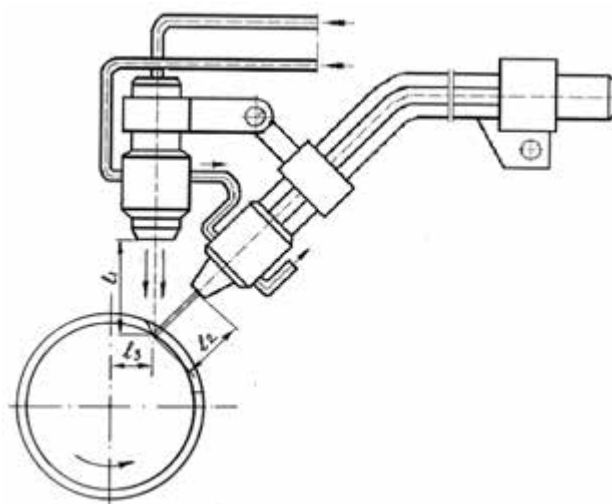


Рис. 2.8. Схема наплавлювання деталей в газополуменевому захисті: 1 – сопло для подачі повітря; 2 – шарнір кріплення сопла до мундштука; 3 – мундштук для подачі дроту; 4 – деталь, що наплавляється

Наплавлення виконують на наплавлювальних установках УД-209, У-653, створених на базі токарного верстата, а також наплавлювальних верстатах. Для

створення газополуменевого захисту установку оснащують пальником, системою живлення пальника газами і системою охолодження пальника і наплавлюваної деталі. Для живлення дуги застосовують джерела з пологоспадною чи жорсткою характеристикою: ВР-600, ВДУ-505, ВДУ-50, ВДУ-601, ПСГ-500 тощо. „Плюс” джерела живлення підключають до пальника.

Щільні шари на сталеві і чавунні деталі наплавляють різними сталевими, зварювальними і наплавлювальними дротами такими, як, наприклад, Св-08, Св-08ГА, Св-08М2С, Нп-30ХГСА, вуглецевими і низьколегованими дротами, наприклад зі сталі 08кп, 10, 20, 45, 65М, 80. Присутність розкислювачів у складі дроту не обов'язкова. Більшість сталевих деталей доцільно наплавляти пружинним дротом II класу. Можуть застосовуватися й інші дроти, що містять до 0,7 % вуглецю і леговані до 1 % марганцю.

Для наплавлення чавунних деталей застосовують зварювальні дроти Св-08 і Св-08А чи низьковуглецеві дроти зі сталей 08кп і 10. Можна застосовувати інші дроти, близькі за складом до зазначеного раніше.

Примусове охолодження деталі дозволяє задовільно формувати наплавлений шар при наплавленні з використанням струму більшої сили, ніж при наплавленні у вуглекислому газі. Завдяки цьому в порівнянні з наплавленням у середовищі вуглекислого газу можна наплавляти деталі меншого діаметра, не побоюючись їхнього перегріву, застосовувати дроти великих діаметрів, і більш продуктивно вести процес. Об'єднуючи процес наплавлення з інтенсивним охолодженням наплавленого металу струменем охолоджувальної рідини (чотирипроцентним розчином кальцинованої соди чи водою), при наплавленні пружинним дротом II класу можна одержати наплавлені шари з твердістю HRC 56 - 64.

2.5. Вібродугове наплавлювання

З метою зменшення тепловмісту деталі при наплавлюванні застосовують вібродугове наплавлювання у водяному парі (рис. 2.9). У процесі наплавлення вібраційний електрод періодично замикає зварювальне коло, змінюючи в ньому напругу і струм. У кожному циклі вібрації можна виділити три періоди: короткого

замикання, дугового розряду і холостого ходу. У момент короткого замикання напруга на дузі падає майже до нуля, а сила струму підвищується до максимального значення. При відході електрода від деталі напруга у колі миттєво підвищується до 18 - 24 В, внаслідок дії електрорушійної сили самоіндукції і виникає короткочасний дуговий розряд. Електродний дріт розплавлюється і краплі розплавленого металу переносяться на деталь. При подальшому відході електрода від деталі горіння дуги переривається і настає період холостого ходу, який продовжується до наступного короткого замикання, після чого цикл повторюється.

У кожному циклі вібрації можна виділити три періоди: короткого замикання, дугового розряду і холостого ходу. У момент короткого замикання напруга на дузі падає майже до нуля, а сила струму підвищується до максимального значення.

У період дугового розряду виділяється 80 - 85% тепла, яке витрачається на розплавлення електрода і утворення зварювальної ванни. Збільшити кількість виділеного тепла, а значить, і продуктивність наплавлення, можна завдяки скороченню або виключенню періоду холостого ходу, що досягається певним поєднанням величини напруги, індуктивності та амплітуди вібрації електрода.

Під час наплавлення мундштук разом із дротом вібрує з частотою 50 - 110 Гц і амплітудою 1,5 - 3,2 мм, що сприяє перенесенню розплавленого матеріалу електродного дроту невеликими порціями, забезпечуючи якісне формування валиків.

Наплавляти можна на постійному та змінному струмі. Постійний струм забезпечує кращу стабільність процесу. Полярність струму впливає на якість наплавленого шару і його зчеплення з основним металом. Ці показники кращі при наплавленні вібродуговим способом на струмі оберненої полярності.

Вібродугове наплавлення дає можливість отримувати рівномірні шари товщиною від кількох сотих міліметра до 3 мм за один прохід. Унікальною властивістю цього виду наплавлення є те, що в певному інтервалі режимів можливо ведення процесу на повітрі без застосування захисних засобів. Вібродуговим наплавленням відновлюють сталеві і чавунні деталі. При наплавленні низьковуглецевим дротом, наприклад марки Св-08, поверхня легко обробляється різцем. Для отримання зносостійких поверхонь застосовують дріт марки Нп-50Г, Нп-65Г, Нп-3ОХГСА, Нп-40Х13 тощо.

Вченими Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України розроблений метод вібродугового наплавлювання під шаром флюсу, який з успіхом застосовують для наплавлення, тонкостінних виробів великого діаметра. Застосування флюсу забезпечує повільне охолодження металу і запобігає утворенню тріщин. Вельми ефективною захисним середовищем в процесі вібродугового автоматичного наплавлення є вуглекислий газ.

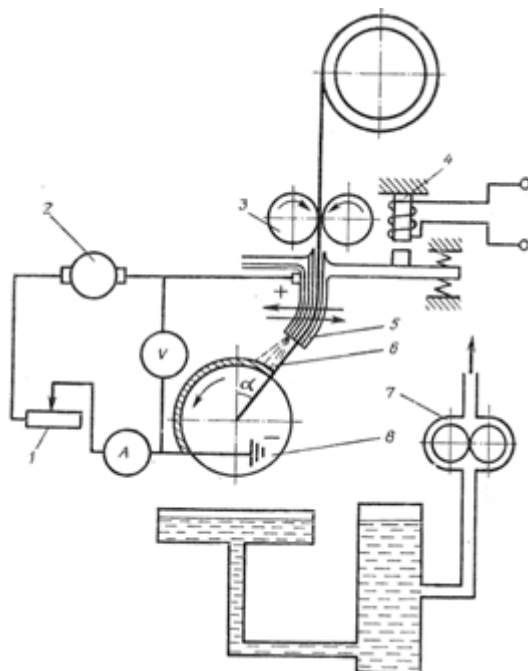


Рис. 2.9. Схема установки для вібродугового наплавлювання: 1 – дросель; 2 – зварювальний перетворювач; 3 – механізм подачі електродного дроту; 4 – вібратор; 5 – мундштук; 6 – електродний дріт; 7 – насос для подачі охолоджувальної рідини; 8 – наплавлена деталь

Накопичення тепла з подальшим швидким малопорційним охолодженням поверхневого шару металу уможливорює наплавлювання малогабаритних деталей циліндричної форми вібродуговим способом. Водночас відсутня небезпека стикання розплавленого металу з поверхні деталі. Для наплавлення зазначеним способом придатні деталі, діапазон розмірів яких коливається в межах 30 - 200 мм.

За вібродугового наплавлювання джерелом живлення електричної дуги є генератори типу АНД-500/250, випрямлячі ВС-300 і ВС-600, перетворювачі ПД-305 і ПСГ-500. Індуктивним опором виступає дросель РСТЕ-34, що послідовно включається у зварювальне коло. Зазвичай установки для вібродугового

наплавлення оснащуються головками типу УАНЖ-6 з електромагнітними й ОКС-6569 з механічними вібраторами.

Якість металопокриттів, одержуваних за вібродугового наплавлення визначається обраним режимом, що формується правильним призначенням його електричних й механічних параметрів.

До електричних параметрів режиму відносять полярність струму, напругу й силу струму зварювання, індуктивність зварювального ланцюга.

Вибір діаметра електродного дроту залежить від потужності джерела струму й товщини наплавлюваного шару. Аби сформувати шар товщиною до 1 мм обирають дріт діаметром 1 - 1,6, а для шару 2 мм – діаметром до 2,5 мм.

Як зазначалось вище, вібродугове наплавлювання здійснюють за постійного струму зворотної полярності (плюс до електрода, мінус до деталі). Силу струму визначають залежно від густини за формулою:

$$I = F_{op} D_a = 0,785 d_{op}^2 D_a, \quad (2.18)$$

де F_{op} – площа перерізу дроту, мм²;

$D_a = 60 - 90$ А/мм² – густина струму.

Оптимальною для вібродугового наплавлення є напруга 14 - 22 В. Для малих товщин (до 1 мм) і деталей малих розмірів обирають значення напруги менші, для великих – більші. На практиці для формування товстих шарів на габаритних деталях напругу можуть збільшувати до 24 - 28 В.

Вібродугове наплавлювання здійснюють за струму зворотної полярності та напруги холостого ходу 12 - 24 В. Сила струму зварювання є залежною від діаметра електродного дроту й швидкості її подавання. За діаметра дроту 1,6 - 2 мм й змінюванні швидкості подавання дроту в межах 1,0 - 3,5 м/хв сила струму змінюється в діапазоні 100 - 200 А. Індуктивність зварювального кола обирається відповідною включенню шести-восьми витків дроселя РСТЭ-34.

Швидкість наплавлювання є надважливим механічним параметром режиму. Саме вона визначає продуктивність процесу наплавлювання й товщину шару наплавлюваного металу. Величину найбільшої швидкості наплавлювання визначають із залежності:

$$V_n = (0,4 - 0,7)V_{др}, \text{ м/хв}, \quad (2.19)$$

де $V_{др}$ – швидкість подавання електродного дроту.

Швидкість подавання електродного дроту $V_{др}$ і швидкість наплавлювання V_n (м/хв) визначають за формулами:

$$V_{др} = \frac{I\alpha_n}{60 \cdot 0,785 \cdot d_{др}^2 \gamma}; \quad (2.20)$$

$$V_n = \frac{0,785 \cdot d_{др}^2 v_{др}}{tS} K_1 K_2, \quad (2.21)$$

де $\alpha_n = 6,5 - 8,5$ г/(А • год) – коефіцієнт наплавлювання;

$\gamma = 7,6 - 7,9$ г/см³ – густина розплавленого металу;

t – товщина наплавлюваного металу, мм;

$K_1 = 0,8 - 0,9$ – коефіцієнт переходу матеріалу електрода в наплавлюваний метал;

$K_2 = 0,8 - 0,95$ – коефіцієнт відхилення площі перерізу наплавлюваного шару від розрахункової величини.

Швидкість подавання дроту може обиратись з діапазону 0,5 - 3,5 м/хв.

Продуктивність процесу наплавлювання з урахуванням швидкості подавання дроту можна визначити за формулою:

$$G_n = 0,367 d_e^2 V_{др} \psi, \text{ кг/год}, \quad (2.22)$$

де G_n – маса наплавлюваного металу;

d_e – діаметр електродного дроту, мм;

$V_{др}$ – швидкість подавання дроту, м/хв;

ψ – коефіцієнт втрат металу, % (приймають $\psi = 8 - 12\%$).

Витрату матеріалів під час наплавлювання поверхні деталі визначають згідно з залежністю:

$$G_{др} = 0,785 d_{др}^2 v_{др} T_M \gamma; \quad (2.23)$$

$$Q_{CO_2} = qT_M K_B, \quad (2.24)$$

де $K_B = 1,15 - 1,25$ – коефіцієнт перевитрати газу внаслідок наступних дій: початку його подавання раніше, ніж подавання дроту; вимикання – після закінчення наплавлювання; продування системи.

Крок наплавлення залежить від діаметра дроту і змінюється в межах $2,5 \dots 3,5$ мм при діаметрі дроту $1,6 - 2$ мм.

Крок наплавлення S визначають за формулою:

$$S = (1,6 \dots 2,2) v_{dp}. \quad (2.25)$$

Амплітуда вібрації електрода:

$$A = (0,75 \dots 1) d_{dp}. \quad (2.26)$$

Виліт електрода:

$$L = (5 \dots 8) d_e, \text{ мм}. \quad (2.27)$$

Товщина наплавлюваного шару металу при зазначених параметрах режиму може знаходитись в інтервалі $0,8 - 3,5$ мм. Під час багатошарового наплавлювання можливо отримати шари будь-якої товщини. Підготовлення поверхонь для наплавлювання передбачає їх очищення від бруду та іржі. Конструктивні пази й отвори, які мають бути збереженими після наплавлювання, заповнюють з виступанням над поверхнею графітовими або мідними вставками. Висота виступання повинна перевищувати товщину наплавлюваного шару для легкого видалення заповнювального матеріалу після наплавлювання. На завершення за потреби проводять центрування деталей.

Для визначення товщини наплавлюваного шару металу можна скористатись наступною залежністю:

$$h = \frac{d_e^2 V_{dp} (1 - \psi)}{V_H b}, \text{ мм}, \quad (2.28)$$

де b - ширина валика, мм.

Тривалість процесу наплавлення у хвилинах підраховують за формулою:

$$t_0 = \frac{l}{ns} i, \text{ хв}, \quad (2.29)$$

де l – довжина наплавлюваної поверхні деталі, мм;

n – частота обертання деталі, об/хв;

s – подовжня подача наплавлювальної головки, мм/об ($s = 2,5 \dots 3,5$ мм/об.);

i – кількість шарів наплавлення, що залежить від товщини наплавленого шару металу.

Частоту обертання деталі визначають у залежності від швидкості наплавлення:

$$n = \frac{1000 V_n}{\pi d}, \text{ об/хв}, \quad (2.30)$$

де d – діаметр наплавлюваної поверхні деталі, мм.

Рекомендовані режими вібродугового наплавлення сталей на струмі зворотної полярності при напрузі дуги 12 - 15 В наведені у табл. 2.3.

Таблиця 2.3. Режими вібродугового наплавлення

Діаметр деталі, мм	Товщина наплавлюваного шару, мм	Діаметр електроду, мм	Сила струму, А	Швидкість наплавлення, м/год	Крок наплавлення, мм	Амплітуда вібрації електроду, мм	Швидкість подачі електроду, м/год	Витрата охолоджувальної рідини, л/хв
20	0,3	0,8	100	132	1,0	1,5	36	0,2
40	0,7	1,0	120	72	1,3	1,8	24	0,4
60	1,1	1,6	150	60	1,6	2,0	48	0,5
80	1,5	2,0	180	36	1,8	2,0	60	0,6

Для вібродугового наплавлення застосовують зварювальний вуглецевий або легований дріт діаметром 1 - 3 мм. Вибір дроту залежить від потрібної твердості та стійкості проти зношування наплавленого шару. Металопокриття має твердість HRC 34 - 40 при використанні маловуглецевого дроту Св-08 і Св-08ГА, а при наплавленні

дротом Нп-30ХГСА, Нп-65 і Нп-80 валик в охолоджувальній рідині загартовується до твердості HRC 36 - 55. Наступний валик наплавленого металу частково розплавлює попередній і створює зону відпалення. Це призводить до неоднорідності структури і твердості наплавленого шару, що ускладнює механічну обробку деталі.

Переваги вібродугового наплавлення: незначне нагрівання і деформація деталей, одержання високої твердості і стійкості наплавленого шару без термічної обробки, можливість нанесення тонких шарів металу (до 0,1 мм), висока продуктивність при відносній простоті обладнання і технологічного процесу. Але наплавлений із застосуванням охолоджувальної рідини шар схильний до утворення тріщин і виникнення високих розтягувальних напружень. Втомна міцність деталей, відновлених вібродуговим наплавлюванням, суттєво знижується.

Для ліквідації негативних явищ, пов'язаних з розкладом вуглекислого газу при високій температурі під час наплавлення в середовищі вуглекислого газу, слід надавати перевагу дротам з розкислювачами Св-08ГС, Св-10ГС, Св-18ХГСА, Нп-30ХГСА та іншим.

Для деталей, що працюють в умовах знакозмінних навантажень, можна застосовувати ті ж марки електродного дроту, але наплавлення варто вести в середовищі вуглекислого газу чи в атмосфері повітря. Однак при цьому твердість наплавленого металу буде не вищою HB 160 - 450.

Якість з'єднання наплавленого металу з основним залежить від декількох факторів. Основними з них є полярність струму, крок наплавлення (подача супорта верстата на один оборот деталі), кут підведення електрода до деталі, амплітуда вібрації електрода, виліт електрода, якість очищення й підготовки поверхні, що підлягає наплавленню, товщина шару наплавлення тощо.

Параметри режимів при вібродуговому наплавленні аналогічні параметрам процесу наплавлення у середовищі CO₂. Крім того, вібродугове наплавлення характеризує також частота й амплітуда коливань електродного дроту, додаткова індуктивність і режим подачі охолоджувальної рідини.

Таким чином, використовувати вібродугове наплавлення доцільно для відновлення деталей, які мають малий знос і не підлягають знакозмінним навантаженням (шийки валів коробок передач і задніх мостів, штовхачів тощо).

2.6. Електрошлакове наплавлювання

Електрошлакове наплавлення полягає у тому, що присадковий метал розплавляється через тепло, яке виділяється при проходженні струму через розплавлений електропровідний шлак від електрода до деталі.

Наплавлювану деталь *1* (рис. 2.10) встановлюють на пристрій для обертання між габаритними дисками *2*. Диски виготовлені з міді за габаритами нової (не зношеної) деталі і мають канали, та порожнини для проходження охолоджувальної рідини. До них щільно прилягає мідний кристалізатор металу *3*, також охолоджуваний проточною водою. У простір між деталлю, габаритними дисками і кристалізатором засипається флюс *4* і подається електрод *5*. У початковий момент між електродом і технологічною планкою збуджується електрична дуга. Тепло, що виділяється, розплавляє флюс і утворюється електропровідна шлакова ванна *6*, яка шунтує і гасить дугу. Температура ванни на 200-300°C вища за температуру плавлення електрода. Електрод розплавляється і під дією сили тяжіння осідає вниз, утворюючи ванну *7* розплавленого металу. При охолодженні метал кристалізується, утворюючи наплавлений шар *8* за формою кристалізатора.

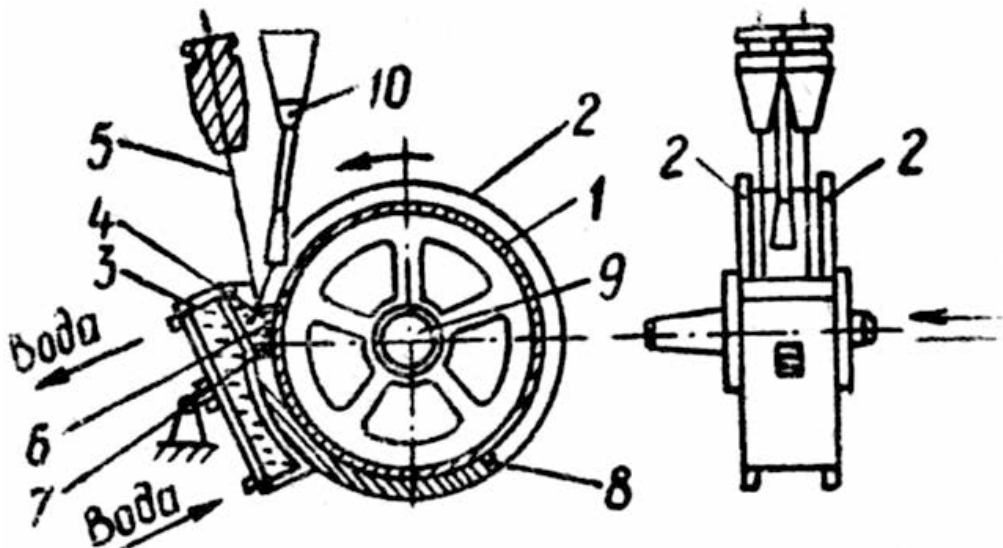


Рис. 2.10. Електрошлакове наплавлювання: *1* – наплавлювана деталь; *2* – габаритні диски; *3* – кристалізатор; *4* – флюс; *5* – електрод; *6* – шлакова ванна; *7* – ванна

Особливістю такого наплавлювання є те, що присадковий матеріал розплавлюється не теплом, що виділяється дугою, а завдяки тому, що електрична енергія безпосередньо переходить в теплову при проходженні електрода через ванну розплавленого електропровідного флюсу. При цьому забезпечуються найменші теплові витрати, а витрата електроенергії зменшується в двоє.

Перемішування металу у ванні незначне, вона містить до 80 - 90% основного металу електрода. Відсутні втрати на розбризкування та вигорання.

Деталь встановлюється в обертач і підводять до неї кристалізатори мідний повзун, який і формує шар металу. Між кристалізатором і деталлю засипають флюс і подається електрод. В початковий момент між електродом і технологічною планкою збуджується електрична дуга, яка розплавляє флюс і утворюється шлакова ванна, яка шунтує і гасить дугу.

Температура ванни 1700°C, що вище температури плавлення електрода. Метал розплавлюється і під дією сили тяжіння осідає, утворюючи ванну розплавленого металу, а охолодження її кристалізатором утворює наплавлений шар. Використовуються спеціальні флюси АН-8, АН-22, АН-348А.

Як присадковий матеріал використовують зварювальні дроти і стрічки, хімічним складом яких задаються фізико-механічні властивості наплавленого металу. Можливе використання порошкових матеріалів, а також легування ванни введенням порошку.

Режими наплавлення вибирають виходячи із умов стійкості проходження процесу, форми і якості металу. Діаметр і число електродів визначають виходячи із товщини і ширини наплавленого шва. Діаметр 3 мм, товщина 20 - 80 мм і ширина 80 мм, швидкість 30...40 м/с і багатоелектродний.

Установка ОКС-7755, а також А-401, А-645М, А-385. Режим $I_{зб.}=850...900$ А; $U=34$ В; $V_{ел.}=210$ м/год, глибина шлакової ванни 80 мм, сухий виліт електрода 0...3 мм рівний 150 мм. Дріт Св-08, флюс АН-8, АНК 19 (HRC 40 - 50).

Установки для електрошлакового наплавлення комплектуються, як правило, спеціальними трансформаторами з номінальним зварювальним струмом до 1000А і напругою 30 - 45В та пристроями автоматичного регулювання рівня ванни рідкого металу, наприклад ОКС-7755.

Флюси повинні мати високу температуру кипіння і електропровідність у рідкому стані, добрі захисні властивості. Випускаються спеціальні флюси АН-8, АН-22 і АН-348А.

Фізико-механічні властивості наплавленого металу залежать від матеріалу електродного дроту. Інколи застосовується легування металу введенням додатково в зварювальну ванну порошків. Режими наплавлення вибирають з умов стійкого процесу і розмірів поверхонь, що наплавляють. Електрошлакове наплавлення - високопродуктивний процес.

Наплавлений шар одержують рівний і якісний. Використовують для відновлення сильно зношених деталей ходової частини тракторів тільки на спеціалізованих підприємствах.

2.7. Наплавлювання порошковими дротами

Такий спосіб зварювання та наплавлювання можуть виконувати як відкритим, так і захищеним дугою за допомогою порошкових дротів, що різняться за конструкцією, призначенням, системою захисту і складом шихти.

Конструктивно дріт виконаний у вигляді металевої трубки, всередині якої розміщено порошок-шихту з додаванням різноманітних легувальних елементів. Порошкові стрічки завширшки 30 - 100 мм доцільно застосовувати для наплавлювання на поверхні як тіл обертання великого діаметра, так і плоских деталей. Стрічки або шихта порошкового дроту складаються із легувальних (чисті метали, вуглець, феросплави); шлакоутворювальних (марганцева та титанова руди, мармур, плавиковий шпат); газоутворювальних (декстрин, крохмаль) компонентів, а також стабілізаторів горіння дуги (поташ, крейда, двоокис титану, окис кремнію), а також залізний порошок. Порошкові дроти формують дві групи: із вмістом легувальних елементів до 12% та вище 12%.

За використання порошкових дротів першої групи необхідним є здійснення якісного захисту наплавлювального металу від азоту. Дроти ПП-АНКО, ПП-3Х2В8, ПП-АН104 виготовляють з газоутворювальних речовин й елементів, що зв'язують атомарний азот, утворюючи при цьому стійкі нітриди.

Використання порошкових дротів другої групи нівелює пріоритетну роль захисту від азоту, оскільки шихта вміщує елементи, які покращають перенесення електродного матеріалу, полегшують формування валиків, які зменшують розбризкування. Дріт виготовляють діаметром 1,6; 2,0; 2,5; 3,0 мм і маркують літерами ПП із вказуванням сплаву або сталі, для наплавлювання яких вона призначена.

Електродним матеріалом у цьому випадку є згорнута з маловуглецевої сталльної стрічки безперервна труба, заповнена порошковою сумішшю - шихтою (рис. 2.11). До складу шихти входять легувальні, газо- і шлакоутворювальні, розкислювальні та інші компоненти.

При горінні дуги шихта відстає від оболонки, що понижує якість наплавленого шару. Щоб підвищити електропровідність шихти, до неї додають до 30% залізного порошку або розділяють осердя дроту металічними перегородками, електрично зв'язаними з оболонкою (рис. 2.11 – в, з, д).

Наплавлення порошковим дротом виконують при постійному струмі оберненої полярності. Діаметр електрода залежить від товщини наплавленого шару, а силу струму вибирають залежно від швидкості наплавлення і підібраного діаметра електрода.

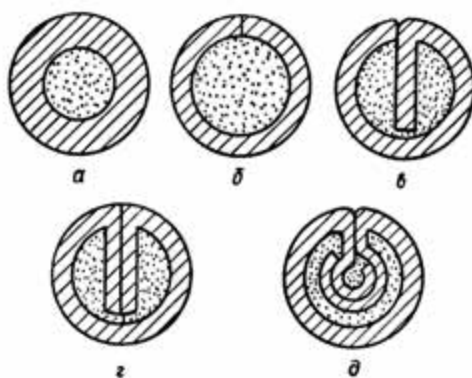


Рис. 2.11. Поперечний переріз порошкових дротів:

а, б – трубчатий; *в* – однозагинний; *з* – двозагинний; *д* – двошаровий

Використовують два типи порошкового дроту: із зовнішнім захистом (під шаром флюсу або у середовищі CO₂) і самозахисні.

Режими наплавлення залежно від марки електрода і діаметра деталі наведені в табл. 2.4.

Поширення порошкових електродів стримується через їх високу вартість. Разом з цим, наплавлювання порошковим дротом має деякі переваги перед іншими способами: вища продуктивність процесу, відсутність необхідності видалення шлаку при напавленні самозахисним електродом, широкі можливості керування фізико-механічними властивостями напавленого шару (твердість HRC 60) завдяки хімічному складу шихти. Для здійснення наплавлювання із застосуванням порошкових дротів використовують токарні верстати й установки із наплавлювальними головками ОКС-1252М, А-580М, а також спеціалізовані установки ОКС-11238, УД-209, У-651; У-653. Живлення дуги забезпечують використанням джерел із жорсткою зовнішньою характеристикою: ВС-600 – випрямляч; ПСУ-500; ВДУ-504.

Таблиця 2.4. Режими напавлення порошковим електродом

Електрод	Діаметр, мм		Сила струму, А	Напруга, В	Швидкість напавлення, м/год
	деталі	електроду			
ПП-АН1	40-60	2,8	260-320	22-24	18-25
ПП-АН4	45-50	2,2	180-220	20-22	20-25
	50-60	2,5	200-250	22-24	20-28
ПП-АН106	40-55	2,6	160-180	22-24	25-35
	50-65	2,6	160-180	22-24	20-25
ПП-25Х5ФМС	45-55	2,6	160-180	22-24	35-40
	50-65	3,6	200-220	22-24	30-40

Наплавлювання виконують із застосуванням порошкового дроту за постійного струму оберненої полярності. Процес виконують за сили струму 160 - 320А; напруги 22 - 24В; швидкості наплавлювання 18 - 40 м/год. Коефіцієнт наплавлювання 12- 20 кг/А год. Витрата дроту на 1 кг напавленого металу 1,2- 1,5 кг.

Наплавлювання порошковими дротами застосовують для відновлення деталей із відносно великим зношуванням, які працюють при знакозмінних навантаженнях, в агресивних середовищах (робочі органи машин перероблювальної промисловості колінчаті та газорозподільчі вали, клапани тощо). Стримує розповсюдження їх відносно висока вартість.

2.8. Плазмово-дугове наплавлювання

Плазмово-дугове наплавлювання передбачає використання плазмового струменя для плавлення присадкового матеріалу і транспортування його частинок на поверхню деталі. Плазма – високотемпературний частково або повністю іонізований газ.

Іонізація спричинюється дією електричного поля високої частоти або виникає внаслідок високої температури електричної дуги. Вид збудження визначає вид плази – дугову і високочастотну. Найбільшого застосування на ремонтних підприємствах отримала дугова плазма.

Пристрій, який формує плазмовий струмінь (стиснену дугу), називають плазмотроном або плазмовим пальником. На рисунку 2.12 представлені принципові схеми плазмотронів (плазмових пальників). З огляду на спосіб підключення до джерела струму плазматори умовно поділяються на пальники з прямою (залежною), побічною (незалежною) дугою та змішаним підключенням.

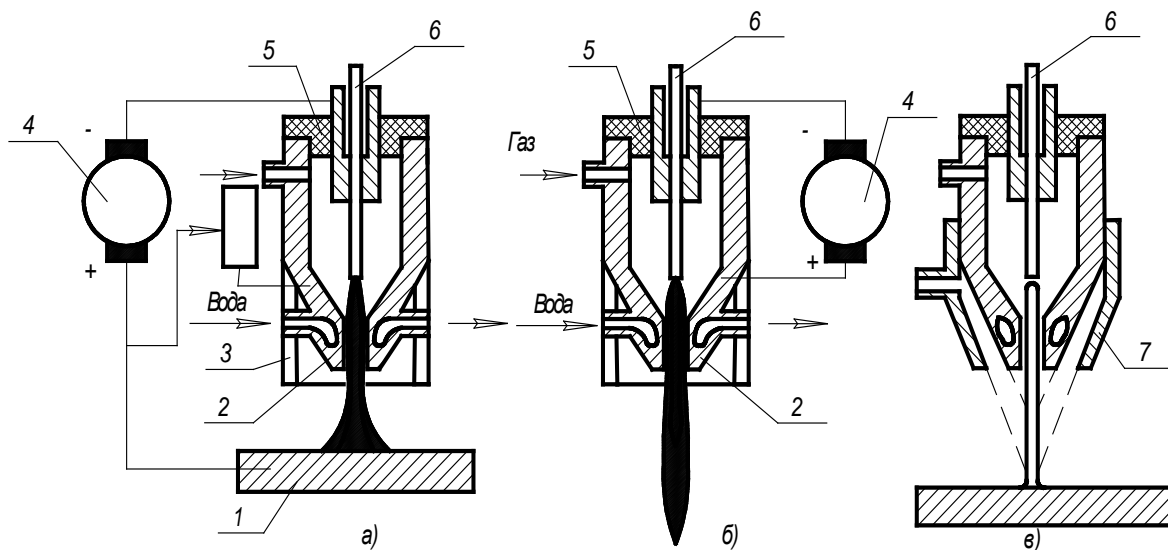


Рис. 2.12. Схеми плазматорів: *а* – з прямою (залежною) дугою; *б* – побічною (незалежною) дугою; *в* – мікроплазмовий; 1 – деталь; 2 – водоохолоджувальне сопло; 3 – газозахисне сопло; 4 – джерело живлення; 5 – камера для плазмоутворювального газу; 6 – електрод; 7 – фокусувальне сопло

В прямодугових плазматорах струм протікає між вольфрамовим (неплавким) електродом, що відіграє роль катода і деталлю – анодом. Дуга, що горить між

підключеною до анода деталлю 1 і неплавким вольфрамовим електродом 6 стискається вузьким каналом водоохолоджувального сопла 2 і плазмоутворювальним газом, що надходить до камери 5. Частина газу, що проходить повз стовп стисненої дуги, іонізується і виходить із сопла плазмовим струменем. Температура плазмового струменя, що утвориться в плазматорі прямої дії, може сягати понад 30000°C. Така схема є актуальною під час різання металів й інших операцій, які вимагають підвищеного нагрівання деталі.

У пальниках з незалежною дугою катодом є вольфрамовий електрод 6, а анодом водоохолоджуване сопло 2 – плазмоутворювального пальника. Нагрітий і значною мірою іонізований газовий потік виходить із сопла у вигляді яскравого полум'я температурою до 16000°C. Тут велика частина енергії витрачається на нагрівання газового потоку, але інтенсивність його теплового впливу нижча, тому що зі зростанням струму збільшуються поверхня стовпа вільної дуги і теплопередача в навколишнє середовище. У цьому випадку температура плазми перед виходом із сопла пальника на 25 - 30 % вища, ніж біля зовнішнього плазмового струменя. Пальники з незалежною дугою застосовують для поверхневого загартування, металізації і напилювання тугоплавких металів і сполук.

При змішаному підключенні пальника між вольфрамовим електродом і соплом запалюється допоміжна побічна дуга, а між вольфрамовим електродом і деталлю – пряма дуга. Незалежне регулювання сили струму обох дуг дозволяє у широкому діапазоні змінювати кількість тепла, що витрачається на розплавлення поверхневого шару деталі і присадного матеріалу. Ця схема одержала поширення при наплавленні деталей порошком, який вдувається в струмінь плазми. Пальники, що випускаються, можуть працювати по кожній з описаних трьох схем.

У пальниках із прямою дугою утруднене порушення дуги між електродом і деталлю через вузький канал сопла. Тому в таких випадках за допомогою осцилятора чи вугільного стрижня збуджують допоміжну дугу між електродом і соплом (рис. 2.12, а), що живиться через обмежувальний опір R від того ж джерела 4, що й основна дуга. Як тільки розігріта допоміжна дуга торкнеться деталі, автоматично загоряється основна дуга і виключається допоміжна.

Витікання плазмового струменя із сопла з високою швидкістю збільшує приплив газів з навколишнього повітря в зону зварювання, і тому пальника постачають газозахисними соплами 3. Крім того, їх застосовують для повторного обтиснення засоплової ділянки плазмового струменя, а іноді і для фокусування струменя (рис. 2.12, в). Такі пальники називають мікроплазмовими, тому що вони дозволяють одержати гостру дугу в області малих струмів порядку 0,5 - 30 А.

Як плазмоутворювальний газ використовують аргон, азот, гелій і ін. Кращим вважається аргон, а найдешевшим – азот. Для захисту зони наплавлення застосовують ці ж гази, їхні суміші, а також вуглекислий газ.

Як неплавкі електроди у пальниках усіх типів використовують вольфрамові стрижні. Більш стійкі – вольфрамові стрижні з присадкою 1 - 2% оксиду лантану.

Наплавочними матеріалами можуть бути дроти і металеві порошки усіх видів. Плазмовий струмінь дозволяє одержувати тонкі наплавлені шари з мінімальним проплавленням основного металу, тобто мінімальним перемішуванням з основним металом, і хорошу якість поверхні. Це дає можливість застосовувати дорогі, але зносостійкі матеріали. Мінімальний припуск на механічну обробку (після наплавлення відразу шліфування) значно скорочує втрати матеріалу. Тому при плазмовому наплавленні успішно застосовують дорогі порошки на нікелевій основі ПГ-СР2, ПГ-СР3, ПГ-СР4, тврдосплавні порошки на залізній основі ПГ-ФБХ-6-2, КБХ, ПГ-УС25 і інші, а також суміші різних порошків.

Як джерела живлення використовують спеціальні напівпровідникові, випрямлячі типу ИПН-100/600, а також зварювальні перетворювачі постійного струму і випрямлячі з напругою холостого ходу не нижче 120 В і крутоспадною характеристикою. Для регулювання струму використовують баластові реостати типу РБ-300.

Якість нанесеного шару при плазмовому наплавленні залежить від якості підготовки (очищення) поверхні під наплавлення і робочих режимів процесу. Режими наплавлення підбирають дослідним шляхом. Рекомендовані режими плазмового наплавлення з використанням різних присадкових матеріалів наведені у табл. 2.5.

Широкий діапазон застосування плазмового наплавлювання спричинений технологічними можливостями цього способу. Зокрема ним користуються для нанесення тонкого шару металу за незначного розплавлення поверхні виробу. Мінімальна ширина одношарового валика, яка при цьому формується, може становити 5 - 6 мм. Для формування широких валиків плазматору надають поперечних коливань. У такий спосіб за один прохід можна наплавлювати валик завширшки до 60 мм.

Плазмове наплавлювання застосовують для відновлювання деталей із зносом 0,1 - 1,5 мм. Наплавлюванням із застосуванням плазми на ремонтних підприємствах наносять стійкі антифрикційні покриття на поверхні відновлюваних деталей та відновлюють зношені посадкові місця під підшипники на валах і осях, колінчасті вали, зовнішні шліци, фаски клапанів автотракторних двигунів й інші деталі.

Таблиця 2.5. Режими плазмового наплавлення

Вид плазмового оброблення	Струм, А	Напруга, В	Плазмотворювальний газ і його витрата, л/год	Транспортувальний газ і його витрата, л/год	Швидкість подавання електродного дроту, м/год	Швидкість наплавлювання, м/год	Відстань від сопла пальника до поверхні деталі, мм
Наплавлювання із застосуванням присадкового дроту	180-260	40-45	Аргон, 120-180	–	6 – 24	9,6	10 – 20
Наплавлювання порошку сормайт №1	180-260	40-45	Аргон, 90	Азот, 240–360	–	9,6	10 – 12
Напильовання порошка	250-350	80-90	Аргон, 1500	Аргон, 1500	–	9,6	120 – 150
Оплавлення порошку	300–320	80-90	Азот, 1500	–	–	9,6–12,0	65 – 70

Перевагами плазмового наплавлювання можна визначити наступні характеристики цього способу: забезпечення доброго зчеплювання наплавлювального шару із основним металом; формування якісного наплавлювального шару; забезпечення малих значень припусків на механічне

оброблення. Недоліками способу є потреба у плазмоутворювальному газі, відносно висока вартість обладнання та матеріалів.

2.9. Індукційне наплавлювання

До відмітних особливостей індукційного нагріву відноситься безконтактний спосіб передачі енергії у виріб, який нагрівають за допомогою електромагнітного поля. У будь-якому електропровідному матеріалі, вміщеному в перемінне електромагнітне поле, індуються вихорові струми. У порівнянні з кондуктивним індукційний (безконтактний) підведення енергії спрощує і розширює можливості нагріву геометрично складних поверхонь деталей.

Пристроєм, що передає енергію високої частоти в наплавлюваний метал, є індуктор. Він являє собою виток або спіраль з декількох витків мідної трубки, при роботі охолоджувані водою, по яких протікає струм високої частоти. При цьому навколо витків створюється змінне магнітне поле. Підготовлені до наплавлення деталі розташовують в зоні дії індуктора, де вони пронизують перемінним магнітним полем. Перемінне електромагнітне поле індує електрорушійну (е. д. с.) силу, під дією якої в металі виникають струми, що нагрівають поверхню до заданої температури. Щільність індукційних струмів в кожному елементарному об'ємі металу може змінюватися за різними законами в залежності від форми, геометричних розмірів деталі, що нагрівається, питомого опору і магнітної проникності матеріалу.

Залежно від розмірів деталі і частоти струму при індукційному нагріванні розрізняють „масивні” і „прозорі” тіла для електромагнітного поля. Якщо діаметр провідника, в якому індуються вихрові струми, у вісім і більш як понад D , то така частота вважається високою або тіло „масивним”. Якщо глибина проникнення струму більше, ніж діаметр провідника, то таке тіло називають „прозорим” для електромагнітного поля даної частоти. В „масивному,” тілі в межах шару металу товщиною L виділяється майже вся потужність (86,5% енергії, яку підводять до тіла).

Вплив нагрівання на електричні властивості матеріалу. До основних

електрофізичних властивостей матеріалів відноситься магнітна проникність (μ) і питомий електричний опір (ρ). Дані параметри впливають на глибину проникнення струму і передану в виріб потужність.

Залежно від відносної магнітної проникності матеріали поділяють на парамагнетики, діамагнетики і феромагнетики. У перших двох проникність близька до одиниці, а у феромагнетиків вона значно перевищує одиницю. До феромагнетика відносяться залізвуглецеві сплави, нікель, кобальт. Магнітна проникність у феромагнетиків залежить від напруженості магнітного поля, температури і ряду інших чинників. Скачкоподібне зменшення магнітної проникності при температурі $+1053\text{K}$ пов'язано з втратою магнітних властивостей сталі. Температура, при якій магнітна проникність падає до одиниці, називається точкою Кюрі. Для різних матеріалів температура магнітних перетворень різна. Наприклад, для вуглецевих сталей точка Кюрі лежить в інтервалі температур $1033\text{-}1056\text{ K}$, кобальту – 1413 K і нікелю – 633 K .

Всі схеми установок підпорядковані умовам узгодження параметрів навантаження з параметрами джерела струму високої частоти (генератори) з тим, щоб забезпечити передачу індикаторам необхідної потужності в межах допустимих перевищень номінальних даних генератора в процесі всього циклу нагріву.

У нас в країні найбільшого поширення набули машинні перетворювачі, статичні перетворювачі частоти і лампові генератори.

Існуючі варіанти наплавлення з використанням індукційного нагрівання струмами високої частоти можна класифікувати за станом основного металу і виду присадкового (наплавлюваного) матеріалу. Розрізняють наступні способи наплавлення: порошкоподібною шихтою, монолітним або брикетованим присадковим матеріалом, у вогнетривкому середовищу, відцентрове і рідким металом.

Наплавлення порошкоподібною шихтою. При наплавленні порошкоподібною шихтою як присадковий матеріал використовують порошкоподібну шихту, яка складається з гранульованого сплаву і флюсів на основі бури. Приготовану шихту наносять рівномірним шаром на поверхню деталі. Потім виріб з нанесеним шаром шихти вводять в індуктор ТВЧ, форма і розміри якого визначаються конфігурацією

поверхонь. Живлення індуктора здійснюють від лампових високочастотних установок з частотою 70 або 440 кГц.

Після включення живлення всередині індуктора виникає змінне електромагнітне поле. У електропровідних тілах, що знаходяться в електромагнітному полі, індукується струм. Відбувається нагрів елементарних об'ємів матеріалу і деталі в цілому. Однак в такому випадку шихта, яка розташована між індуктором поверхнею, в зв'язку з великим опором металевого порошку незначно реагує на вплив змінного електромагнітного поля. Шихта є як би „електропрозорою” для виникаючого в індукторі поля. Тому основна кількість тепла буде виділятися в тонких поверхневих шарах основного металу, а присадковий матеріал (шихта) буде нагріватися головним чином в результаті теплопередачі від поверхні. У зв'язку з цим температура плавлення порошкоподібного сплаву, який входить до складу шихти, повинна бути нижче температури плавлення основного металу. При цьому швидкість нагріву поверхні повинна значно перевищувати швидкість відводу тепла в тіло деталі і втрат на випромінювання.

У процесі нагрівання шихти до температури 600 - 750°C відбувається розплавлення флюсу, а рідка фаза змочує поверхню деталі і частинки твердого сплаву. Поліпшується теплопередача від основного металу в присадковий, а температурний градієнт різко зменшується. При подальшому нагріві збільшується хімічна активність флюсу і він вступає у взаємодію з оксидами, переводячи їх в рідкий шлак. Одночасно проходить процес плавлення гранул присадкового матеріалу, які добре змочують розкислену поверхню основного металу. У результаті на поверхні деталі утворюється шар рідкого присадкового сплаву, зовнішня поверхня якого захищена від взаємодії з киснем повітря шаром рідкого шлаку. Враховуючи швидкоплинність процесу наплавлення, вибирають такий флюс, щоб розкислення наплавного металу тривало протягом декількох секунд.

Після відключення живлення індуктора ТВЧ відбувається процес кристалізації наплавленого шару металу. Подальша обробка полягає в видаленні шлаку і надання всій деталі форми відомими методами.

Розглянутий варіант індукційного наплавлення вигідно відрізняється від інших відомих тим, що можлива якісна наплавка не тільки механічно оброблених

поверхонь, але і покритих шаром ірж або окалини. При наявності вказаних видів забруднень необхідно тільки незначне збільшення кількості флюсу в шихті.

При наплавленні порошкоподібною шихтою використовують флюси, які складаються в основному з трьох компонентів: бури, борного ангідриду і силікокальція. Третій компонент вводять для підвищення активності розкислення, оскільки до складу силікокальція входить силіцид кальцію (CaSi_2) і домішки алюмінію, магнію, заліза тощо. Як відомо, силіцид кальцію широко використовується в металургійній промисловості як високоактивний відновник оксидів металів. Добавка силікокальція в флюс дозволяє різко зменшити в'язкість шлаку в інтервалі температур, починаючи від моменту завершення процесу наплавлення до повної кристалізації рідкого сплаву. Крім того, силікокальцій сприяє дегазації розплаву, запобігає появі на поверхні металу окисів типу вестита і забезпечує рафінування рідкого присадкового сплаву в результаті видалення неметалічних включень, що містять до 30% кальцію.

У практиці індукційного наплавлення використовують флюси двох типів: плавлені та у вигляді механічної суміші різних компонентів. Плавлені флюси отримують в результаті спільного попереднього плавлення при температурі близько 850°C кристалічної бури, борної кислоти і силікокальція. Такі флюси позначають індексом П (плавлені) і цифрою, яка показує масове відношення кількості борного ангідриду до бури. Наприклад, у флюса марки П-1,5 відношення вмісту борного ангідриду до бури дорівнює 1,5. Флюси, що являють собою механічну суміш бури, борного ангідрида і силікокальція, вводяться безпосередньо в наплавочну шихту у вигляді вихідних компонентів.

На відміну від механічних сумішей плавлені флюси практично нерозчинні в воді. Це дозволяє використовувати наплавлювальні пасти з пластифікаторами, що містять воду. Токсичні окремі компоненти після сплаву утворюють інертну при кімнатній температурі сполуку. При використанні флюсів групи П помітно поліпшується формування поверхні наплавленого сплаву.

Для скорочення витрат дорогих бормістких компонентів деяка частина їх може бути замінена певним дешевшим наповнювачем, наприклад, гранулами скла, роль якого зводиться тільки до механічного захисту поверхні від окислення.

Встановлено, що без шкоди для якості наплавлювання у флюсі можна замінити до 30% бормістких компонентів. Як інертні добавки до складу флюсу вводять подрібнене скло або зварювальний флюс АН-348А, який посилює відмінності шлаку і сплаву. Це сприяє якіснішому видаленню шлакової кірки з поверхні.

Як наплавлювальний матеріал використовують металевий порошок. Відомо, що металеві порошки практично не реагують на дію змінного електромагнітного поля індуктора ТВЧ, а їх нагрівання здійснюється головним чином в результаті теплопередачі від основного металу. У зв'язку з цим сплави, які використовуються для індукційного наплавлення, повинні відповідати деяким додатковим вимогам:

- температура плавлення сплаву повинна бути нижче температури плавлення основного металу не менш ніж на 100 - 150°C;
- наплавлювальний матеріал повинен бути у вигляді порошку певного гранулометричного складу;
- сплав повинен мати мінімальну магнітну проникність.

Зносостійкість наплавленого сплаву залежить від числа твердих складових в структурі сплаву. У області відновлення і зміцнення деталей застосовують два різні способи управління вмістом твердих складових в наплавленні: зміною хімічного складу сплаву; введенням в шихту важкорозчинних домішок, що утворюють в результаті взаємодії з легкоплавкою зв'язкою специфічні композитні матеріали – псевдосплави.

2.10. Лазерне наплавлювання

Лазерне зварювання і наплавлення оснований на використанні енергії світлового потоку високої міри спрямованості. Це вид зварювання плавленням, при якому нагрів матеріал здійснюється когерентним світловим променем, який створюється оптичним квантовим генератором – лазером.

Лазерне оброблювання матеріалів й деталей машин, є новим науково-технічним напрямом щодо технологій машинобудування. Аналізування методів лазерного оброблення визначає окремі групи щодо застосовуваних процесів: нагрівання; плавлення; випаровування; ударна дія на матеріал із змінюванням

тривалості й потужності випромінювання. Нагрівання охоплює відпалювання матеріалів, а також метод, що є найпоширенішим – лазерного поверхневого зміцнювання з використанням фазових перетворень в твердому стані поверхневих шарів сплавів і металів за надшвидкого нагрівання й подальшого охолодження.

Лазерний промінь може бути сфокусований в плямі від десятих часток міліметра до декількох мікрометрів, що дозволяє управляти щільністю переданої променем енергії. Завдяки концентрації променя на невеликій площі поверхні, що нагрівається може забезпечуватися щільність енергії до 10^{17} Вт / см². При такій щільності енергії промінь може розплавляти будь-які матеріали, що застосовуються для зварювання і наплавлення в вигляді дроту, шнурів, стрічок і порошків, оскільки для здійснення процесу зварювання достатня щільність енергії лазерного випромінювання в зоні обробки близько $10^5 - 10^7$ Вт/см² при тривалості впливу $10 - 10^{-2}$ с. Лазерний промінь не тільки поглинається поверхнею, що нагрівається, а й відбивається від неї, що знижує ККД лазерної установки. Для зменшення втрат енергії слід штучно підвищувати яка поглинає здатність нагрівається поверхні, застосовуючи спеціальні покриття.

В установках для лазерного зварювання і наплавлення застосовуються твердотілі лазери (з твердим, зазвичай рубіновим робочим тілом) і газові лазери (з газоподібним робочим тілом, зазвичай у вигляді суміші вуглекислого газу, азоту і гелію). Останні мають вищу потужність (5 - 10 кВт і більше) і ефективні при зварюванні заготовин великої товщини. Твердотілі лазери краще при наплавленні і невеликій товщині зварювання, оскільки дозволяють виробляти її з більшою швидкістю в порівнянні з газовими лазерами тієї ж потужності. Це перевага обумовлена тим, що метали більш ефективно поглинають випромінювання з меншою довжиною хвилі, що створюється твердотілими лазерами.

Основними параметрами режиму лазерного нагріву є потужність випромінювання, діаметр плями фокусування променя лазера, швидкість переміщення оброблюваного матеріалу щодо променя. Застосовують лазерне зварювання з присадним матеріалом або без нього. Залежно від значень зазначених параметрів режиму нагрівання можливе зварювання деталей малої товщини з глибиною проплавлення до 1 мм і зварювання з глибоким проплавленням. В обох

випадках проплавлення може бути як наскрізним, так і за всією товщиною деталі. Наприклад, тонкі деталі з товстими стінками часто зварюють внахлест з наскрізним проплавленням тонкої і непрямим проплавленням товстої деталей.

Застосуванням плавлення реалізують наступні методи поверхневого оброблення: наплавлювання, легування, оплавлення попередньо нанесеного шару матеріалу, аморфізування, лазерне очищення зерен сплавів й металів. Найбільшого практичного застосування набули газові лазери з використанням вуглекислого газу з додаванням гелію й азоту. Їх потужність може сягати 10 кВт за достатньої стабільності й надійності роботи.

Зміцнювання лазерним наплавлюванням поширюється у промисловому й ремонтному виробництвах. Лазерне наплавлювання передбачає нанесення наплавлювального матеріалу на поверхні відновлюваної деталі або безпосереднє його подавання до зони дії лазерного променя з подальшим опалюванням. Безпосередньо в зону дії лазерного променя наплавлювальний матеріал може подаватись за допомогою транспортувального газу як порошок або як стрічка чи дріт. За одне проходження лазерного променя формується наплавлювальний валик, висота якого не може перевищувати 0,5 - 0,7 мм. Для формування шарів від 1,8 до 2,7 мм потрібно вдруге здійснювати оплавлення, а це знижує продуктивність процесу.

Для вироблення переважної більшості відповідальних деталей техніки аграрного призначення застосовують високоміцні чавуни й якісні вуглецеві сталі. Тому важливим є визначення впливу параметрів лазерного наплавлювання як технологічного процесу та характеристик поверхонь після відновлювання й зміцнювання лазерним наплавлюванням. Зразками проявлення впливів оберемо деталі, виготовлені з високоміцного чавуну ВЧ 50 ГОСТ 7293-85 та сталі 45 ГОСТ 1050-79, 40Х ГОСТ 4543-79, ШХ15 ГОСТ 801-78. За лазерного наплавлювання температура та її розподілення зміцнюваною поверхнею є важливим чинником, який визначає стан поверхні деталі. Впливовим фактором формування фізико-механічних властивостей шарів, які піддаються наплавлюванню, а значить якості відновлених деталей залишається характер розподілення температури їх поверхнею.

Встановлення умов проведення наплавлювання, пошук зони оптимального технологічного режиму лазерного оброблення, визначення тенденцій до утворення ядра розплавлення на визначену глибину (явище пов'язане з акумулюванням теплоти в приповерхневому шарі) базується на оцінюванні температурної дії на металеві поверхні під час оброблення лазерним променем. У порівнянні із сталевим для чавунного зразка спостерігається крутіший характер наростання моменту утворення зони розплавлення. Це пояснюється відмінністю теплофізичних характеристик згаданих матеріалів.

Для реалізації лазерного наплавлювання застосовують порошкові наплавлювальні сплави на залізній основі ПГ-ФБХ6-2 ГОСТ 11546-75 та ПГ-Н70Х17С4Р4 ТУ 14-127-185-82 – на нікелевій. Задля підвищення якості наплавлювальних шарів застосовують порошкові суміші, до складу яких вводиться порошковий алюміній ПАД ТУ 48-01-82-71.

Найменша кількість утворених тріщин забезпечується відсотковим вмістом порошків ПГ-Н70Х17С4Р4 й ПГ-ФБХ6-2, відсотковим співвідношенням порошку ПАД та швидкістю оброблення. Поєднання взаємозалежності між швидкістю оброблення й відсотковим вмістом порошку алюмінію здійснює істотний вплив на тріщиноутворення. Практичне застосування порошкових сумішей для лазерного наплавлювання визначає їх оптимальний склад: ПГ-ФБХ6-2 – 68 - 73%; ПГ-Н70Х17С4Р4 – 25 - 30%, ПАД – решта.

Можна виділити два способи нанесення наплавлювального порошку на поверхню деталей: нанесення шлікерної обмазки та газопорошкове вдування в зону лазерного променя порошковим живильником.

За першого способу (рис. 2.13), як зв'язувальний компонент за виготовлення обмазки найбільш доцільно застосовувати карбоксиметилцелюлозу – клей на целюлозній основі (КМЦ). Допускається також застосування інших речовин – рідкого скла та силікатного клею.

До клею додається порошок і доводиться до потрібної в'язкості. Готову обмазку наносять на деталь пензлем або спеціальним пристосуванням. Обмазка вигорає за температури 300 - 400 °С і не спричинює змінювання хімічного складу наплавлювального шару, є стійкою до температури під час нагрівання деталі, добре

наноситься на поверхню і значно покращує її поглинальну здатність. За такої технології оброблення поверхні лазерним променем можна проводити і безпосередньо після нанесення обмазки, і після просушування. Це не спричинює істотного впливу ні на якість наплавлювального шару, ні на режими оброблення.

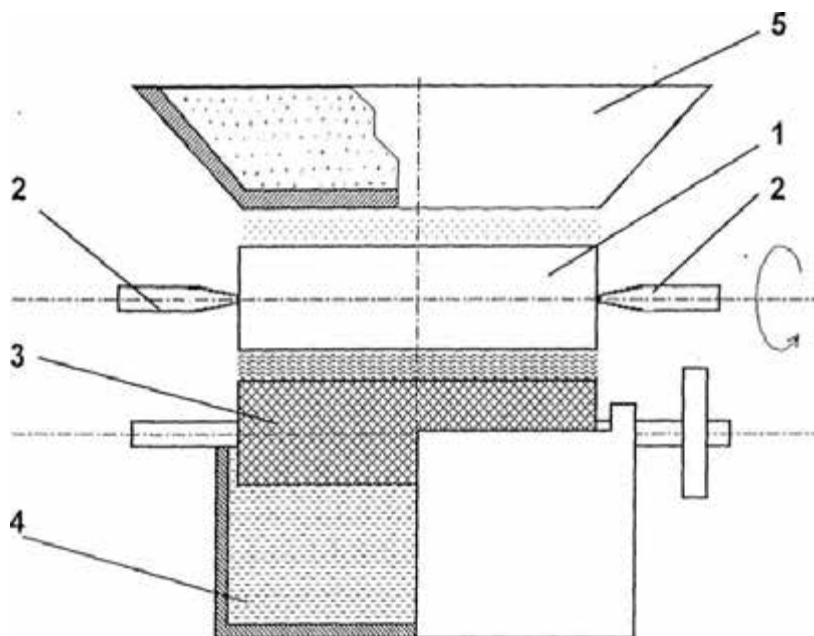


Рис. 2.13. Принципова схема нанесення шлікерної обмазки на відновлювану деталь: 1 – відновлювальна деталь; 2 – центри; 3 – обмазувальний вал; 4 – ванна з мастилом; 5 – бункер з порошком

Другий спосіб нанесення порошку передбачає здійснення газопорошкового вдування за тиску 0,05 - 0,1 МПа в зону лазерного променя порошковим живильником. Як газ застосовується використовується аргон або повітря.

Переплавлення напиленних шарів технологічно може бути виконано із застосуванням лазерного променя. Такий спосіб забезпечує високу однорідну мікротвердість покриття, високу міцність зчеплювання з основою, відсутність пор у наплавлювальному шарі тощо. Водночас недоліком такого способу може визначатись значне ускладнення оброблення реальних деталей через необхідність попереднього нанесення порошку на їх поверхню, що характеризується такими величинами витрат питомої енергії: за наплавлювання валу для ГПЛН – $(30 - 50) \times 10^6$ Дж/м²; для шлікера – $(60 - 90) \times 10^6$ Дж/м²; для напиленого плазмового шару – $(180 - 330) \times 10^6$ Дж/м².

Отримання покриттів, які мають високі експлуатаційні характеристики,

передбачає застосування матеріалів із заданим хімічним складом. Лазерне наплавлення відзначається високою технологічністю реалізування, застосуванням малодефіцитних сировинних складників відносно низької вартості (сплави системи нікель-хром-кремній-бор). Ці спеціальні сплави мають гомогенні властивості, уміщують флюси та слугують для розчинювання оксидів. Отриманий з них тонкодисперсний порошок сфероїдної форми характеризується високою текучістю, що дозволяє стабілізувати процес наплавлення, підвищити якість наплавлювального шару та коефіцієнт використання матеріалу.

Згадані сплави характеризуються наявністю інтервалів (950 - 1150°C), а не точки плавлення. Це призводить до формування шару за визначеним об'ємом, гарантує змочуваність для забезпечення дифузійного стану зчіплюваності шару з основою, перевищує межу міцності на відривання понад 50 кг/мм². Твердість таких покриттів становить від 25 - 62 HRC.

Виробництво також забезпечує інші спеціалізовані матеріали, які призначені для здійснення газотермічного напилювання: порошкові титан-алюмінієві (ПТ - 651035), нікель-алюмінієві (ПН - 851015, ПН - 701080) та нікель-титанові сплави (ПН - 55145, ПТ - 88Н12).

Окрім вищезазначених порошків виробляються хроммісткі самофлюсувальні порошкові сплави з підвищеним до 32% вмістом хрому (ПГ-АН3, ПГ-АН4, ПГ-АН6, ПГ-АН8) та з обмеженими до 3,0% домішками заліза (ТУИЕС 316-81), а також сплави, у складі яких не допускається наявність домішок заліза і відсутній вміст хлору – відповідно ПГ-10Н-03, ПГ-10Н-04 (ТУ 48-4206-156-82) та НПЧ-1, НПЧ-2, НПЧ-3 (ТУ48-1940-73).

Водночас зазначені порошки мають високу вартість, до того ж за формування наплавлювального шару більш за 2,4 мм використання хромбромнікелевих порошків призводить до виникнення тріщин.

Для формування покриттів способом лазерного наплавлення з підвищеною до HRC 55 твердістю використовують порошкоподібні наплавлювальні суміші КБХ, ФБХ6-2, УС-25 (ГОСТ 11546-75), які здатні підвищити зносостійкість покриття в 3 – 7 разів.

Згадана технологія відновлення передбачає нанесення шлікерної порошкової

обмазки з нікелевою основою та додаванням целюлозного клею (ПГ-ХН80СР4). Твердість отриманої в такий спосіб поверхні сягає HRC 55, а ресурс валі, що підлягали відновленню, – 90% нових.

Газопорошкове лазерне наплавлювання передбачає застосування лазерної потужності N у діапазоні 3,2 – 5 кВт. Режим формування поверхневого покриття з використання порошку ПГ-СР3 за лазерного оплавлення має наступні характеристики: швидкість наплавлювання – 4,5 - 15 мм/с; випромінювальна потужність – 1,5 кВт; діаметр лазерного променя – 2,5 мм; фокусна відстань оптичної системи – 350 - 360 мм; транспортувальний газ – ь азот. Для запобігання формування тріщин та розтріскуванню, притаманних отриманим покриттям, до хромбормолібденових сплавів додавали до 3% від масової частки феросплавів. На пошкоджену різь вала наплавлювали порошковий сплав зі сталі 20Х4 і за результатами експлуатаційних випробувань встановили повне відновлення ресурсу пошкодженої деталі.

Виконання плазмового наплавлювання на установці УМП-5 самофлюсувальним порошком з нікелевою основою ПГ-ХН80СР-2 забезпечило формування напиленого шару завтовшки 1 мм з пористістю від 8 до 30%. Режим лазерного оплавлення, що характеризувався потужністю випромінювання – 2 - 3,5 кВт й діаметром сфокусованого випромінювання – 0,5 - 1,6 мм забезпечив формування оплавлених шарів надзвичайної дисперсності, які не мали оксидних включень та були позбавлені пор.

За відновлення деталей складних сільськогосподарських машин методом лазерного оплавлення газопорошкових покриттів використовували лазерний пристрій ЛГН-702 із застосуванням порошків ПГ-СР3, ПГ-СР4. Потужність лазерного випромінювання була встановлена на рівні 0,8 кВт, діаметр лазерного променя – 3 мм. В результаті були отримані поверхневі шари, що характеризувались малодисперсною будовою з рівномірним розподіленням нікелевмісні кристали, які формували зміцнювальні фази перенасиченого розчину. Ресурс таких деталей після відновлення збільшився у 3 – 3,7 раза у порівнянні до методу ГПН без застосування лазерного оплавлення.

Перевагами лазерного оплавлення можна визнати покращення якості

робочих поверхонь, підвищення ресурсу деталей, розширювання можливостей конструювання покриттів. Водночас застосування цього способу призводить до ускладнення технології відновлювання пошкоджених деталей та підвищення вартості їх відновлення.

Основною частиною такої установки є генератор, перетворюючий енергію, накопичену в блоці конденсаторів, в енергію когерентного світлового променя. Лазер дозволяє сконцентрувати на поверхні деталі енергію при щільності потужності від гранично малих величин до 1017 Вт/см^2 . Енергія може передаватися матеріалу безконтактно, на значні відстані від генератора і строго дозовано.

При відновленні деталей лазерний промінь використовують для приварки додаткової ремонтної деталі або для наплавлення поверхонь в результаті розплавлення основного і присадкового матеріалу. Присадковий матеріал може використовуватися у вигляді порошку, дроту або стрічки чи фольги. Найбільш часто для наплавлення використовують порошкоподібний сплав, який попередньо наносять на відновлювану поверхню у вигляді обмазки на основі клейових складів.

Це дозволяє забезпечити рівномірність прогріву по наплавлюваній поверхні з мінімальними втратами порошку і, крім того, підвищити до 60 - 70% міру поглинання лазерного випромінювання.

Для відновлення і зміцнення деталей можна використовувати лазери, які серійно випускаються промисловістю. ВНПО „Ремдеталь” розробило комплект обладнання для відновлення гідро- і паливної апаратури, що включає в себе газовий лазер ЛГЛ-702 з номінальною потужністю 800 Вт, установку для наплавки СКС-011-1-02 з оснащенням для лазерної обробки, пристосування для керування променем та систему газозабезпечення. Наплавлення здійснюється самофлюсувальними порошкми типу СНГН і ПГ-СР циліндричних і плоских поверхонь, які зношені на глибину до 1 мм, з припуском на подальшу обробку шліфуванням. Установка забезпечує продуктивність наплавлення до $10 \text{ см}^2 / \text{хв}$ при товщині шару за один прохід 0,5 мм. Втрати матеріалу не перевищують 1%, площа, яку займає лазерна наплавлювальна установка і допоміжне обладнання складає близько 50 м^2 .

Установка 01.03-165 „Ремдеталь” розроблена для використання з лазерами

потужністю 0,7 - 2,5 кВт. Завдяки змінам в конструкції оптичної системи формування променя, що приходить від лазера, можлива обробка (наплавлення) за траєкторіями різних форм, в тому числі і за гвинтовою лінією, зигзагом тощо. Крім того, для зниження витрат випромінювання, в неробочій частині циклу між лазером і установкою розташовується заслінка-відсікач, яка управляється з пульта установки або в автоматичному режимі.

На ремонтних підприємствах лазерним наплавленням відновлюють впускні і випускні клапани, розподільні вали, золотники гіддорозподільників, ротори турбокомпресорів та інші деталі. До основних переваг відновленням лазерним наплавленням слід віднести мале тепловкладення в деталь і як наслідок відсутність деформацій і зони термічного впливу.

Слід мати на увазі, що зварювання з глибоким проплавленням вимагає високої точності напрямки лазерного променя (допускається його відхилення становить 0,2 мм при довжині зварного шва в кілька метрів). Необхідна також ретельна збирання деталей під зварювання. Так, зазор між ними не повинен, як правило, перевищувати 0,3 мм. Для цього потрібна ретельна підготовка кромek зварюваних деталей, яка забезпечується або лазерним різанням вихідних заготовин або їх механічною обробкою з необхідною точністю.

Перевагами лазерного зварювання в порівнянні з дугового і газової є:

- висока якість зварного з'єднання завдяки формуванню вузького зварного шва, заснованого на міжатомних взаємодії зварювальних матеріалів, що в ряді випадків дозволяє виключити його подальшу обробку;
- висока якість зварювання при виготовленні і відновленні деталей, що складаються з різних матеріалів (наприклад, з легуваних і вуглецевих сталей);
- висока швидкість зварювання (до 500 м / год);
- практично відсутність деформацій зварених виробів завдяки вузькому шву і малої зони термічного впливу.

Практикою встановлено, що при потужності випромінювання до 4 кВт (зварювання металів товщиною до 5 мм) лазерне зварювання більш вигідна, ніж електроннопроменева. Це обумовлено, зокрема, тим, що лазерне зварювання не вимагає спеціальних вакуумних камер і дозволяє зварювати вироби значно більшої

товщини, що робить її більш універсальною. Якщо ж для зварювання необхідна потужність випромінювання понад 10 кВт (зварювання металів товщиною понад 10 мм), то економічно вигідніше використовувати електроннопроменеве зварювання. У проміжку між зазначеними значеннями потужності для вибору конкретного виду зварювання необхідний порівняльний аналіз розглянутих видів зварювання з урахуванням умов виробництва.

2.11. Відновлення деталей нанесенням гальванічних покриттів

2.11.1. Теоретичні основи усунення пошкоджень деталей нанесенням гальванічних покриттів

Теоретичні основи (засади) відновлення зношених поверхонь деталей гальванічними покриттями.

Відновлення зношених поверхонь деталей гальвопокриттями базується на проходженні електролізу під дією електричного струму. Електролізом називаються хімічні процеси в електролітах, які проходять під дією електричного струму. Електроліти – це розчини солей, кислот, лугів у воді за дисоціації їх на іони.

Електроліз – хімічний процес, який відбувається на електроді під час проходження електричного струму через електроліти (рис. 2.14). Електроліти – речовини (солі й луги, розчинені у воді, кислоти), які дисоціюють, розпадаючись водночас на позитивні і негативні іони. Вода (H_2O) є слабким електролітом і дисоціює на іони водню ($2H^+$) і гідроксилу (OH^-). Під час дисоціації водню і металів одержують позитивний заряд (катіони) і, переміщуючись у процесі електролізу до поверхні катода (електрод, з'єднаний з негативним полюсом джерела струму), поповнюються електронами. Таким чином відбувається відновлення (електровідновлення) і перетворення у нейтральні атоми. Аналогічно, іони кислотних залишків гідроксилів, володіючи негативним зарядом (аніони), переміщуються до поверхні анода (електрод, з'єднаний з позитивним джерелом струму), розряджаються. При цьому вони віддають надлишкові електрони – відбувається електроокислення і перетворення їх у нейтральні атоми.

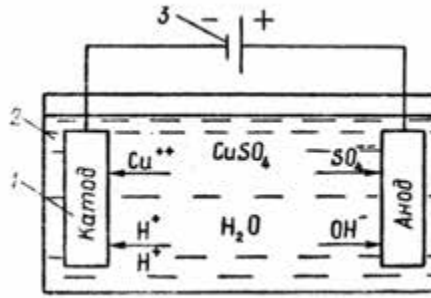


Рис. 2.14. Схема установки для електролітичного осаджування металу:

1 – деталь; 2 – електроліт; 3 – джерело струму

Виділення металу із супутнім виділенням водню є основним процесом на катоді під час електролізу, а кисню – на аноді. Виріб, який покривають, виступає як катод, а як анод — металічні стрижні, пластини, інші металічні конструкції. Електроліз металів протікає із застосуванням розчинних (наприклад, при залізненні) або нерозчинних (при хромуванні) електродів. Перший випадок передбачає визначення як основного процесу розчинення металу, що осаджується на поверхню деталі. Це означає переходження атомів металу у вигляді катіонів до розчину, а супутнім процесом є виділення кисню. Постійну концентрацію електроліту підтримують утворені катіони. Інший випадок – електроліз із нерозчинними анодами, який поповнює електроліт іонами металу завдяки додаванню до електроліта речовини, яка уміщує цей метал.

Параметри, які характеризують електроліз, ґрунтуються на законах М.Фарадея. Перший закон говорить, що теоретична маса речовини, яка виділяється на катоді, пропорційна кількості електрики, яка пройшла через електроліт:

$$m = cIt, \quad (2.31)$$

де c – електрохімічний еквівалент речовини, яка виділяється на катоді, г/А - год;

I – сила струму;

t – тривалість електролізу.

За другим законом встановлено, що електрохімічний еквівалент певної речовини пропорційний його хімічному еквіваленту, який дорівнює відношенню атомної маси до його валентності.

$$C = I/F - A/n, \quad (2.32)$$

де F – постійна Фарадея, яка визначає кількість електрики, необхідної для виділення під час електролізу одного грам-еквіваленту речовини $F = 26,8$ А-год.

n – валентність металу;

A – атомарна маса металу.

Оскільки на катоді одночасно протікають разом із основним й інші відновлювані процеси, на які витрачається певна кількість електрики, то дійсна маса осадженого матеріалу буде менша розрахункової. Відношення дійсної кількості речовини до теоретичної називається виходом за струмом, або ККД ванни:

$$\psi = (m_d/m_m) \times 100, \quad (2.33)$$

де m_d – маса металу, яка дійсно відкладена на поверхні деталі;

m_m – маса металу, яку можливо відкласти на поверхні деталі теоретично

За призначення технологічних режимів усунення пошкоджень гальванопокриттями використовують щільність величини струму, який означає співвідношення величини струму до площі поверхні деталі:

$$D_k = I/S \text{ (A/дм}^2\text{)}, \quad (2.34)$$

де I – сила струму, А;

S – площа поверхні, яку відновлюють, м².

Отож розрахункова товщина осадженого матеріалу визначимо із формули:

$$h = c \cdot D_k \cdot t \cdot \eta / 1000 \cdot \gamma, \quad (2.35)$$

де γ – питома маса металу, г/см³.

Насправді більшість електролітів дає нерівномірні осадки, оскільки мають обмежену розсіювальну здатність, під якою розуміють властивість електролітів забезпечувати рівномірність за товщиною покриття на катодах складної форми, елементарні поверхні яких розміщено на різних відстанях від анода.

На характер розподілу металу на катоді впливають розміри і форма анодів та їх відносне розміщення до деталі. Розрізняють також криючу здатність електролізу

або роботу ванни в глибину, під якими розуміється здатність електролізу якісно покривати заглиблені місця виробу незалежно від його рівномірності за товщиною.

2.11.2. Технологія підготовки деталей до нанесення електролітичних покриттів

Підготовка деталей включає цілий ряд послідовних операцій і передбачає: механічну обробку; промивання деталей в органічних розчинах; монтаж деталей на підвіску; знежирювання; декапування; травлення.

Зношені поверхні механічно обробляють до виведення слідів спрацювання і отримання необхідної геометричної форми (шліфування).

Розчинники: бензин; гас; бензол.

Підвіски і контакти виготовляють з однакових матеріалів, в основному із бронзи або міді, і розраховані виходячи із густини струму 0,7 - 1,0 А/дм².

Рекомендують електролітичне знежирювання в розчині: NaON – 30 - 50 г/л; NaCO – 25 - 30г/л; NaSiO – 10 - 20г/л.

Температура електролізу 60 - 70 С; $D_k=5 - 15$ А/дм², $t_{кам.} = 2 - 3$ хв; $t_{ан.} = 1 - 2$ хв. Після знежирювання деталі промивають спочатку гарячою $t=60 - 80$ С, а потім холодною. Після знежирювання проводять ізоляцію поверхонь, на які не потрібно наносити покриття. Для цього застосовують: перхнорвиніловий лак, целулоїд, вініпласт.

Декапування (хромування) - це процес обробки в хромовому електроліті 100 г CrO₃ і 2 - 3 г H₂SO₄ на 1 л води $t= 60 - 90$ С; $D_k= 25 - 40$ А/дм² ; $T=55 - 60$ °С.

Травленням видаляють оксидні плівки і дефектний шар із деталей, які покривають, виявляють кристалічну структуру і підвищують поверхневу активність металу деталі. Його проводять хімічними та електрохімічними методами.

Хімічне травлення виконують у водному розчині сірчаної і соляної кислот 15 - 20% р-н. H₂SO₄ або 10 - 20 % р-н. HCl. Травлення в H₂SO₄ проводять при $T=50 - 60$ ° С. Тривалість процесу 30 хв і більше , вона залежить від величини площі поверхні деталі, концентрації і температури розчину.

Хімічне травлення застосовують в ремонтному виробництві при підготовці метизів, дрібних деталей до цинкування і очистці зварювального дроту від іржі.

За ремонтування частіше застосовують електрохімічне травлення при відновленні зношених деталей. Найбільш розповсюджене анодне травлення через електрохімічне розчинення металу, механічне відривання оксидів від його поверхні, на поверхні анода киснем, що виділяється.

2.11.3. Нанесення гальванічних покриттів

В ремонтному виробництві найчастіше застосовують залізнення, хромування, рідше – цинкування і нікелювання.

Залізнення має добрі техніко-економічні показники: вихідні матеріали і аноди порівняно дешеві і недефіцитні, високий вихід по струму 85 - 95 %; продуктивність – 0,2 - 0,5 мм/год; товщина твердого покриття 0,8 - 1,2 мм; можливість регулювання властивості покриттів (мікротвердість 1600 - 7800 МПа) в залежності від їх призначення, що обумовлює універсальність процесу; висока стійкість до спрацювання твердих покриттів; покриття добре хромуються, що дозволяє застосовувати комбіновані покриття Gr + Fe.

Залізнення використовують при:

- відновленні малозношених поверхонь деталей до нормального або ремонтного розміру;
- усуненні дефектів механічної обробки;
- зміцненні робочих поверхонь деталей із маловуглецевих і середньовуглецевих сталей.

Характеристика методу. залізненням називається процес електролітичного осадження заліза з водних розчинів хлористого або сірчаноокислого заліза. Електролітично осаджене залізо за своїм хімічним складом близьке до маловуглецевої сталі, а за своїми властивостями (твердості, міцності, зносостійкості тощо) наближається до властивостей незагартованої середньовуглецевої сталі, тому процес отримав назву залізнення.

При пропущенні постійного струму через електроліт іони заліза розряджаються на катоді (деталі), покриваючи його шаром металу. Одночасно з цим відбувається розчинення анода з надходженням в розчин нових іонів замість розряду на катоді. Разом з іонами заліза на катоді розряджаються іони водню, які, проникаючи в кристалічну решітку покриття, надають йому підвищену твердість і крихкість. Для звільнення покриття від водню деталі після залізнення необхідно піддавати низькотемпературному сульфідуванню з подальшою обробкою пластичним деформуванням. Це дозволяє істотно підвищити міцність від втоми і зносостійкість деталей.

Особливостями процесу залізнення в порівнянні з хромуванням є:

- застосування розчинних анодів і дешевших електролітів;
- висока щільність струму ($10 - 50 \text{ А/дм}^2$) і швидкість формування покриття ($0,2 - 0,8 \text{ мм / год}$ в залежності від щільності струму);
- велика товщина покриття (більш як 3 мм при м'якому і до 2 мм при твердому залізненні);
- високий вихід заліза за струмом, що досягає $80 - 95\%$ замість $12 - 15\%$ як при хромуванні, що дозволяє вести процес залізнення при меншій потужності джерела постійного струму;
- менша тривалість і вартість, що обумовлює ефективність його застосування за ремонтування машин.

Процес залізнення характеризується високою універсальністю щодо мікротвердості створюваних покриттів, яка може перебувати в діапазоні $1600 - 7800 \text{ МПа}$. Зносостійкість м'яких покриттів дещо менш зносостійкості вуглецевої сталі тієї ж твердості, а твердих покриттів наближається до зносостійкості загартованої сталі. Отримання того чи іншого покриття залежить від складу електроліту і режиму залізнення. При необхідності м'які покриття піддають подальшому зміцненню (цементуванню, азотуванню та сульфоціанітуванню).

Отримані залізненням покриття добре хромуються, що дозволяє створювати більш економічні комбіновані покриття, що мають однакову з хромовими зносостійкість. Висока економічність залізнення підтверджується тим, що вартість

відновлених їм деталей становить 0,3 - 0,5 вартості нових при однаковій зносостійкості.

Поряд з осадженням чистого заліза застосовують електролітичні леговані покриття, що володіють підвищеною зносостійкістю і корозійною стійкістю. Для отримання таких покриттів в електроліт вводять добавки, наприклад, хлориди нікелю і кобальту або інші компоненти в різних концентраціях. Змінюючи склад електроліту, температуру і щільність струму, можна регулювати механічні властивості одержуваного покриття.

Область застосування твердих покриттів за ремонтування: відновлення зношених робочих поверхонь відповідальних чавунних і сталевих деталей (шийок валів, пальців тощо); відновлення посадкових поверхонь валів і осей; гнізд під підшипники; виправлення браку механічної обробки.

При виборі деталей для відновлення залізненням необхідно враховувати, що їх втомна міцність через те, що покритті утворюються залишкові напруження розтягу, знижується на 10 - 20%. Попереднє накатування або дробеструменева обробка деталей перед залізненням дозволяє створити в них напруження стиснення, які зменшують вплив напружень, що розтягують в покритті. Міцність зчеплення покриття з основним металом досягає 120 МПа. Покриття не відшаровується навіть при навантаженнях, що викликають пластичну деформацію самих деталей. Для усунення крихкості, підвищення твердості і міцності покриття деталі після залізнення рекомендується піддавати низькому відпуску при температурі 300...350°C з витримкою протягом 30 хв і поступовим охолодженням на повітрі.

Одним з методів підвищення ефективності процесу залізнення є ведення його на асиметричному змінному струмі промислової частоти при зниженій (18 - 25°C) температурі електроліту. Регулюючи силу струму в прямому і зворотному напрямках (асиметрію струму) отримують покриття з різними механічними властивостями. При цьому способі не потрібно підігрівати електроліт, спрощується конструкція установки і знижується її вартість. Перспективним для підвищення продуктивності є застосування при залізнення трифазного змінного струму.

Технологічний недолік процесу залізнення – необхідність систематичної корекції складу електроліту і його фільтрування. За хімічним складом електроліти

поділяються на три групи: хлористі, сірчаноокислі і мішані (сульфатно-хлористі). Найчастіше застосовують хлористі. За температурним режимом електроліти поділяють на гарячі, а також холодні, які не потребують великих витрат енергії і дозволяють використовувати менші густини струму, без корекції електроліту, але мають нижчу продуктивність, чим гарячі.

Поверхню активують перед нанесенням покриття при виконанні переходів: витримка без наведення струму 40 - 60 с і вивід на заданий режим: диференційовано через кожні 2 - 5 А/дм², із витримкою по $t=0,5 - 1,0$ хв на кожному ступені, а потім катодну густину струму плавно збільшують до заданого значення.

При виборі режиму потрібно пам'ятати, що чим вище катодна густина струму, тим більша швидкість осадження металу і продуктивність процесу; чим нижча температура і концентрація електролізу і вище густина струму (жорсткий режим), тим більша твердість залізних покриттів і менша максимальна товщина; чим вище температура і концентрація електроліту, тим більшу густину струму можливо використовувати; потрібно витримувати необхідну кислотність електроліту, оскільки вона значно впливає на зчіплюваність покриттів.

Співвідношення між анодною і катодною поверхнями повинно бути $S_a : S_k = 1:2$. Оптимальне значення діаметра анода для внутрішніх покриттів складає $1/3 - 2/3 D$ отвору. Для зменшення забруднення електроліту анодним шлаком їх поміщають в чохли із кислотійкої тканини. Аноди розміщують із двох боків від деталей на відстані 60 - 150 мм. Довжина анодів повинна бути не більшою від довжини поверхні. Віддаль між деталями 70 - 150 мм. Верхні кінці 80 - 100 мм від поверхні електроліту, а нижчі 150 - 200 мм від дна ванни.

Матеріали та обладнання для залізнення

Електроліти і аноди. Застосовувані при залізнення електроліти розрізняються за хімічним складом (хлористі, сірчаноокислий і ін.) і робочій температурі (гарячі і холодні). Електроліт готують розчиненням у воді солей хлористого заліза та інших компонентів, а також використовують знежирену стружку з маловуглецевої сталі, яку цькують до насичення соляної кислоти.

Найбільш продуктивні і економічні хлористі електроліти. Вони складаються з розчину соляної кислоти, хлористого заліза, хлористого марганцю і кухонної солі.

Широко застосовується електроліт наступного складу: 200 - 350 г/л хлориду заліза; 100 - 150 г/л хлориду натрію; 1,5 - 2,5 г/л соляної кислоти. Процес ведеться при щільності струму 1000 - 1500 А/м² і температурі електроліту 75 - 90°C.

Для визначення складу електроліту задаються певною концентрацією хлориду заліза (від 200 до 350 г/л), розраховують максимально допустиму щільність струму і мінімально допустиму кислотність електроліту. Кислотність коректують, періодично додаючи в електроліт соляну кислоту

Гарячі електроліти (робоча температура 60 - 95°C) забезпечують вищу продуктивність залізнення, проте потрібні підвищена витрата енергії на підтримку температури і більш ретельна вентиляція у зв'язку з інтенсивним випаровуванням електроліту. Холодні електроліти (температура менш як 50°C) позбавлені зазначених недоліків. Вони дозволяють отримувати гладкі покриття більшої товщини з високими механічними властивостями. Крім того, вони мають більш тривалий термін служби.

При залізнення застосовують розчинні аноди, виготовлені зі сталі з вмістом вуглецю до 0,2%. Для запобігання забруднення електроліту шламом, що утворюється при розчиненні анодів, їх рекомендується поміщати в футляри з пористих матеріалів (склотканини, спеціальної кераміки тощо).

Ванни для залізнення. Залізнення проводять в сталевих ваннах, внутрішні поверхні яких ізолюють від електроліту кислотостійкими матеріалами (керамікою, полімерними матеріалами, гумою, емаллями тощо) Ванна 3 (рис. 2.15) встановлена на підставці 5 усередині металевого зовнішнього кожуха 2 так, що між ними утворено простір, що заповнюється трансформаторною оливою. Олива служить для нагрівання електроліту у внутрішній ванні. Для цього під нею встановлений електронагрівач 7, пов'язаний кабелем 8 з джерелом живлення.

Позаваннове залізнення. Для залізнення невеликих за площею поверхонь у великих деталей застосовують позаванновий спосіб, який дозволяє відмовитися від застосування великих ванн, зменшити обсяг використовуваного електроліту, скоротити або виключити деякі підготовчі операції, пов'язані з ізоляцією не покриваються поверхонь, значно знизити витрати енергії і матеріалів. При позаваннове залізнення проводиться за традиційною технологією, для чого в зоні

нанесення покриття створюється місцева ванна (електролітична комірка). Такий спосіб дозволяє значно збільшити щільність струму і продуктивність процесу. Позаванновий спосіб залізнення реалізується струменевим і проточним методами, а також електролітичним натиранням.

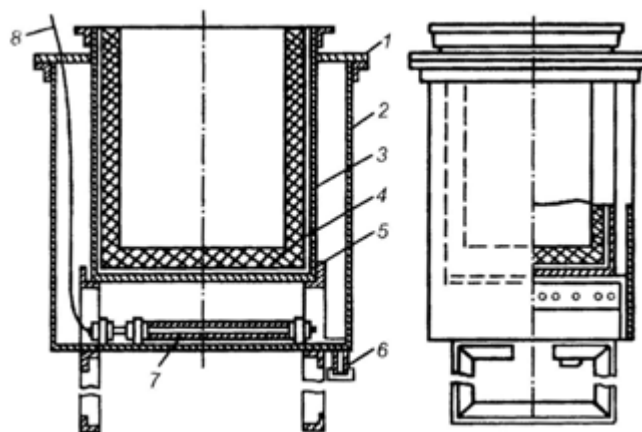


Рис. 2.15. Ванна для залізнення: 1 – кришка; 2 – зовнішній кожух; 3 – внутрішня ванна; 4 – облицювання ванни; 5 – підставка; 6 – спускний штуцер; 7 – електронагрівач; 8 – електрокабель

При струменевому залізненні електроліт подають насосом струменями через отвори насадки в простір між анодом і деталлю (катодом). Насадка одночасно служить анодом і місцевої ванною. Застосовується концентрований холодний хлористий електроліт. При щільності струму 40 - 55 А/дм² продуктивність залізнення становить 0,4 мм/год. Рівномірна товщина покриття забезпечується через обертання відновлюваної деталі або обтікання електролітом в зазорі між нею і анодом завдяки спеціальній конструкції останнього і тангенціальній подачі електроліту (рис. 2.16).

Електролітична комірка для струминного залізнення шийок великих валів складається з верхнього 4 і нижнього 9 корпусів, з якими жорстко пов'язані відповідні частини анода 8. При з'єднанні між собою зазначених корпусів затискачем 7 обидві частини анода охоплюють деталь 6 так, що між ними утворюється кільцевий міжелектродний зазор. Електроліт подається під тиском через патрубок 1 в інший кільцевий зазор між корпусами і анодом і при проходженні через тангенціально розташовані в ньому отвори розділяється на безліч

струменів, які отримують рух навколо відновлюваної деталі. Швидкість протікання електроліту в міжелектродному проміжку повинна бути 1 - 1,5 м/с при питомій витраті 40 - 45 л/хв на 1 дм² поверхні, що покривається.

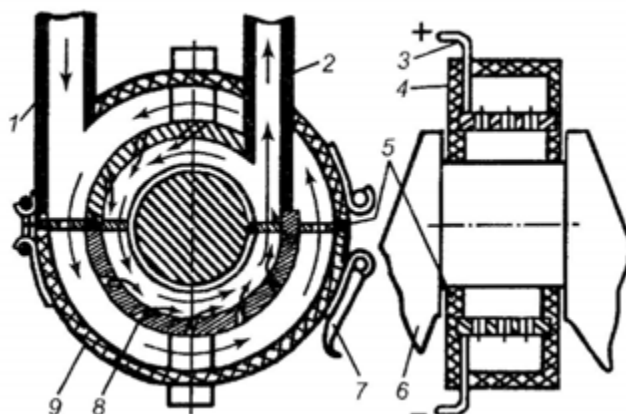


Рис. 2.16. Схема пристрою для струменевого позаванного залізнення шийок валів: 1 – підвідний патрубков; 2 – відвідний патрубков; 3 – кабель; 4 – верхній корпус; 5 – ущільнювальна прокладка; 6 – відновлювана деталь; 7 – затиск; 8 – анод; 9 – нижній корпус

Проточне залізнення. Його зазвичай застосовують для відновлення зношених отворів в корпусних деталях. У ці отвори встановлюють аноди і за допомогою спеціального пристрою деталь перетворюють на закриту місцеву гальванічну ванну, через яку насосом прокачують електроліт. При підключенні деталі і анода до джерела струму на поверхні отвору осідає залізо. Рекомендована температура електроліту 75 - 80°C, а катодна щільність струму 25 - 30 А/дм². Метод дозволяє отримувати якісні гладкі покриття зі швидкістю 0,3 мм/год, товщиною до 0,7 мм і твердістю 4000 - 4500 МПа.

На рис. 2.17 представлена схема пристрою для проточного залізнення одночасно чотирьох отворів в корпусі редуктора.

За допомогою спеціальних верхньої 4 і нижньої 8 кришок, а також штатних кришок корпус перетворюється в місцеву ванну для залізнення. У кожне з відновлюваних отворів концентрично встановлюється анод 5, який кріпиться гайкою 6 на металевому стрижні, пов'язаному з струмопроводом 3. Між анодами і відновлюваними отворами утворюються міжелектродні зазори, через які

безперервно прокачують електроліт. Він надходить в відновлювану деталь через підвідний штуцер 1 і видаляється з неї через штуцер 9.

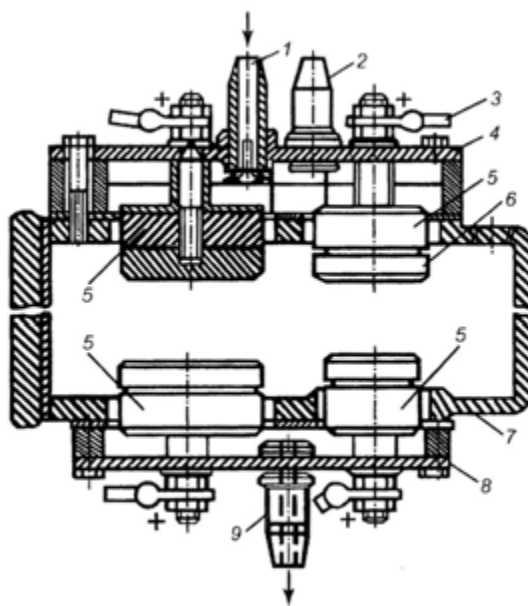


Рис. 2.17. Схема пристрою для проточного залізнення отворів в корпусних деталях: 1 – підвідний штуцер; 2 – штуцер для відведення газів; 3- струмопровід; 4 – верхня кришка; 5 – анод; 6 – гайка; 7 – деталь; 8 – нижня кришка; 9 – зливний штуцер

Електролітичне натирання. Воно є універсальним методом електролітичного нарощування, який найбільш ефективний в ремонтному виробництві при невеликому обсязі відновлювальних робіт. Відновлювана деталь 1 (рис. 2.18), яка є катодом, встановлюється з можливістю обертання на стенді або верстаті, а анодом служить металевий або графітовий електрод 2, на який надівається добре вбирає електроліт живильник 3, останній виконує функцію ванни і вручну за допомогою утримувача 6 притискається до відновлюваної поверхні і переміщується щодо її. Деталь і стрижень підключають до джерела постійного струму і встановлюють необхідну щільність струму. В процесі нанесення покриття деталь отримує повільне обертання і відновлюваної поверхнею контактує з живильником, який методом поливу безперервно змочують електролітом 4. В результаті в зоні контакту деталі з чохлом протікає електрохімічна реакція і на відновлюваної поверхні осідає металеве покриття.

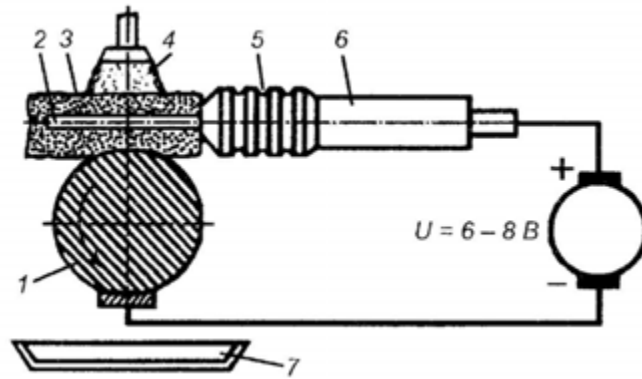


Рис. 2.18. Схема електролітичного натирання циліндричних поверхонь: 1 – відновлювана деталь; 2 – електрод; 3 – живильник; 4 – електроліт; 5 – корпус; 6 – тримач; 7 – ванна

Метод електронатирання забезпечує формування якісного покриття з дрібнозернистою структурою. Він рекомендується для відновлення посадкових поверхонь деталей типу тіл обертання.

Хромування

Характеристика методу. Гальванічне хромування є одним з поширених технологічних процесів відновлення деталей. Покриття з хрому мають високу зносостійкість і хімічну стійкість, не піддаються корозії і не чутливі до нагрівання до 400°C . Твердість хромових покриттів досягає 850 - 1200 одиниць за Вікерсом, а міцність зчеплення хрому зі сталлю, чавуном, міддю на зріз – до 300 МПа.

Хромове покриття збільшує термін служби деталей до 5 разів. Тому воно застосовується для відновлення номінальних розмірів зношених деталей, забезпечення їх зносостійкості, захисно-декоративних та ін. цілей. Наприклад, іноді деталі піддають хромуванню перед загартуванням. Такі деталі після термічної обробки не мають окалини, тому відпадає необхідність їх очищення.

Хромування виконують при напрузі 6 - 12 В і щільності струму не менш як $2 \cdot 10^3 \text{ A/m}^2$. Залежно від його призначення хромування підрозділяється на гладке і пористе. Властивості хромових покриттів залежать від складу і температури електроліту, катодної щільності струму. Змінюючи співвідношення щільності

струму і температури, можна отримати різні за властивостями гладкі хромові покриття: блискучі, молочні і матові.

Блискучі покриття мають високу твердість (до 9000 МПа), підвищену зносостійкість і крихкість. На їх поверхні утворюється сітка пересічних тріщин, видимих під мікроскопом. Таке покриття отримують при температурі електроліту понад 65°C. Молочні покриття створюються при підвищеній щільності струму і температурі електроліту 45 - 65°C. Маючи високу зносостійкість, вони в порівнянні з блискучими покриттями мають підвищену в'язкість і в 1,5 раза меншу твердість, завдяки чому сітка тріщин на них не утворюється. Через відсутність тріщин такі покриття ефективні при підвищених вимогах до корозійної стійкості деталей.

Матові або сірі покриття утворюються при низькій температурі електроліту і підвищеної щільності струму. Вони характеризуються максимальною твердістю (до 12000 МПа) і крихкістю, мають знижену зносостійкість і тому в ремонтних цілях практично не застосовуються. Отримання матових покриттів часто вважається браком при хромуванні. Тому в ремонтному виробництві з гладких застосовуються блискучі і молочні покриття для деталей нерухомих з'єднань (посадки підшипників кочення на валах тощо), використовуються обидва види покриття. Для деталей, що труться, що працюють при невеликих тисках (до 0,5 МПа), рекомендуються блискучі покриття, а для працюючих при високому тиску і знакозмінному навантаженні – молочні.

Пористе хромове покриття має підвищену зносостійкість завдяки кращим умовам змащення і тому знаходить широке застосування в машинобудуванні та ремонтному виробництві. Воно особливо ефективно при високому питомому тиску і підвищеній температурі в третьовій парі. Необхідна пористість шару хрому може бути створена механічними, хімічними і електрохімічними способами. При механічному способі перед хромуванням на поверхні деталі наносяться поглиблення у вигляді каналів або пор, які зберігаються після осадження хрому. При такому способі відпадає необхідність в анодній обробці покриття хрому. Хімічним способом пористість досягається шляхом травлення блискучого хромового покриття в соляній кислоті. Електрохімічним способом пористе покриття виходить через анодне оброблювання такого покриття.

Анодна обробка для отримання пор проводиться в електроліті того ж складу, що і хромування, при щільності струму 40 - 50 А/дм² і температурі електроліту 50°C. Деталь в цьому випадку є анодом. При обробці протягом 10 хв глибина пор складає 0,05 мм. Після анодної обробки деталі промиваються в проточній воді і перевіряється якість покриття.

Основними характеристиками пористого покриття є твердість, зносостійкість, пористість які дуже важливі для деталей, що працюють в умовах граничного тертя (шийки валів, валики насосів тощо). Оскільки хром по хрому працює погано, тобто з великим зносом обох деталей, то хромується тільки одна зі спряжених деталей пари, що треться. Більш зносостійкими є покриття, що мають пористість 30 - 40% від загальної площі поверхні. Воно має дрібнозернисту текстуру із мікротвердістю 4000 - 12000 МПа і низьким коефіцієнтом тертя і високою зчіплюваністю. Покриття стійке до дії більшості кислот і лугів, жаростійке та зносостійке. Найбільша стійкість до зношування покриття при твердості 7000 - 9200 МПа.

Хромування застосовують для:

- створення декоративно-захисних покриттів;
- зміцнення робочих поверхонь пресформ штампів, вимірювальних і різальних інструментів, сильно навантажених деталей: поршневих кілець, штоків гідроциліндрів, ножів шнеків, крилачів змішувачів;
- відновлення зношених відповідальних деталей;
- підвищення рефлекторної здатності дзеркал, рефлекторів.

Співвідношення S_k : $S_a=4 - 6$.

До недоліків хромування і хромових покриттів відносяться:

- тривалість процесу, що пов'язано з малою швидкістю осадження металу (за 1 год наноситься шар хрому товщиною 0,01 - 0,03 мм);
- можливість наносити покриття невеликої товщини, оскільки при товщині понад 0,3 - 0,4 мм вони є менш зносостійкими, а при товщині понад 0,5 мм схильні до відшарування;
- низький (12 - 18%) вихід за струмом;
- значне зниження втомної міцності відновлених деталей;
- відносно висока вартість відновлення;

- порівняно низька шорсткість покритої поверхні;
- погані умови праці.

При хромуванні деталей, що працюють в умовах знакозмінних навантажень, слід враховувати, що їх втомна міцність знижується на 15 - 25%. Це відбувається внаслідок значних напружень розтягу в поверхневому шарі деталі.

Цей недолік проявляється меншою мірою при веденні процесу хромування на струмі змінної полярності. Варіюючи величиною тривалості між перемиканнями полярності, можна зменшити шорсткість поверхні покриття і забезпечити в ньому незначні за величиною залишкові напруги розтягнення, а отже, і несуттєве зниження втомної міцності, що важливо для деталей, що працюють в умовах знакозмінних навантажень.

Підготовка деталей до хромування проводиться за описаною вище загальною технологією нанесення гальванічних покриттів. Поверхні, що не підлягають покриттю хромом, ізолюють целулоїдним лаком, а отвори в деталі закривають свинцевими пробками. Кращі результати забезпечує знежирення деталей електролітичним способом при наступному складі електроліту: 100 г NaOH, 2 - 3 г Na₂SiO₃ (рідке скло), 1 л води. При цьому анодом служить залізна пластина, а катодом – деталі, які очищують. Процес знежирення триває 5-6 хв при щільності струму (5 - 7)10² А/м², напрузі 5 - 6 В і температурі розчину 65 - 70°C. Після цього деталі промивають в гарячій воді, витримують для видалення окисів протягом 3 - 5 хв в 10% -ому розчині сірчаної кислоти і знову промивають в гарячій воді.

Замість травлення в розчині сірчаної кислоти застосовують анодне декапування в хромовій ванні. Для цього деталь підключають як анод і витримують протягом 5 - 8 хв в розчині до вирівнювання температур деталі і електроліту. Потім її витримують 30 - 60 с. при щільності струму (2 - 3) 10³ А/м². Після декапування деталь промивають в холодній проточній воді. При хромуванні відповідальних деталей рекомендується після декапування протерти їх кашкою з вапна, щоб забезпечити краще приставання хрому до деталі.

Матеріали та обладнання для хромування.

Електроліти. Зазвичай застосовуються сірчаноокислий електроліт, основними компонентами якого є хромовий ангідрид і сірчана кислота в співвідношенні 100 : 1.

У цьому випадку вихід хрому за струмом максимальний. В залежності від концентрації хромового ангідриду електроліти бувають низької (12 - 15%), середньої (20 - 25%) і високої (30 - 35%) концентрації. Перші застосовуються при підвищених вимогах до зносостійкості, оскільки забезпечують вищий вихід хрому за струмом і отримання твердих, зносостійких покриттів. Електроліти високої концентрації застосовуються переважно для отримання захисно-декоративних покриттів, оскільки забезпечують кращу стійкість процесу електролізу і отримання щільного блискучого шару хрому з хорошою відбивною здатністю. Електроліти середньої концентрації за своїми властивостями є універсальними і застосовуються для нанесення всіх видів покриттів з виходом за струмом 12 - 14%.

Удосконалення процесу хромування забезпечується застосуванням саморегулюючого електроліту, в якому автоматично підтримується оптимальне співвідношення між його компонентами. Це досягається, наприклад, завдяки введенню в електроліт солей сірчаноокислого стронцію і кремнефтористого калію в кількості, що перевищує їх розчинність так, що надлишок цих солей присутній в електроліті у вигляді осаду. Розчиненням або збільшенням осаду досягається стабілізація складу електроліту. Саморегулюючі електроліти забезпечують вищу катодну щільність струму і стабільність процесу хромування з вищим виходом за струмом, який може досягати 40%, що дозволяє в 1,3 - 1,5 раза підвищити продуктивність хромування. Однак ці електроліти більш токсичні.

Все ширше в ремонтному виробництві для хромування застосовуються холодні електроліти, наприклад, тетрахроматні з робочою температурою 17 - 23°C. Процес хромування ведеться при катодній щільності струму 50 - 100 А/дм² і виходом за струмом 30 - 33%.

Цей електроліт дозволяє отримувати якісні покриття з великою продуктивністю і меншими внутрішніми напруженнями. Покриття виходять м'якші, без тріщин і тому ефективні для захисно-декоративних цілей. Важливо і те, що тетрахроматні електроліти менш агресивні до вуглецевої сталі, тому для хромування можна застосовувати сталеві ванни без захисного облицювання внутрішньої поверхні. При виборі холодних електролітів слід враховувати те, що підтримання

низької їх температури при високій щільності струму вимагає застосування холодильних агрегатів.

Ванни для хромування. Ванну виготовляють з листового заліза товщиною 4 - 5 мм зазвичай з подвійними стінками, що дозволяє нагрівати електроліт гарячою водою, яка прокачується між стінками ванни. Внутрішню ванну облицьовують сплавом свинцю, що містить 5-6% сурми або кислотостійкими матеріалами.

Якщо матеріал облицювання має низьку теплопровідність, то електроліт нагрівають, прокачуючи гарячу воду по зануреному до нього освинцьованого змійовика або за допомогою електричних нагрівачів. Місткість ванн визначаються габаритами і формою деталей, які повинні знаходитися приблизно на 100 мм вище дна і 50 мм нижче верхнього рівня електроліту. Відстань між анодами і катодом має бути 100 - 155 мм.

Для хромування великогабаритних деталей застосовують ванни (рис. 2.19, а) і накладні ванни з листового целулоїду товщиною 3 - 4 мм, які встановлюють безпосередньо на деталь (рис. 2.19, б).

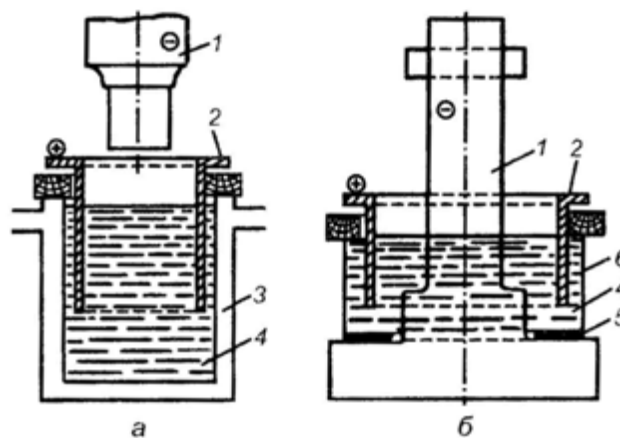


Рис. 2.19. Конструктивні схеми ванн для хромування великогабаритних деталей: *а* – пересувної; *б* – накладної; 1 – деталь (катод); 2 – анод; 3 – ванна з подвійними стінками; 4 – електроліт; 5 – ущільнення; 6 – ванна

Ефективним для великогабаритних деталей є також хромування в проточному електроліті та безваннове хромування з використанням для електроліту порожнини в самій деталі.

Для хромування в ваннах застосовують нерозчинні свинцеві аноди з вмістом сурми 6%, виконані зазвичай у вигляді плоских пластин. Хромування великих

круглих деталей при двох анодах не дозволяє отримати однакові за товщиною покриття. Кращі результати виходять при чотирьох анодах, віддалених на однакову відстань від деталі (катода). Для отримання рівномірного шару хрому на фасонних поверхнях застосовують фасонні аноди.

Джерелом струму при хромування можуть служити спеціальні низьковольтні двополюсні генератори постійного струму або подовжувачі.

При хромування на електродах виділяються гази (водень - на аноді, кисень - на катоді) виносять з собою також екологічно шкідливі пари електроліту. Тому обладнання для гальванічних покриттів повинно оснащуватися надійною вентиляцією для відсмоктування газів безпосередньо з поверхні ванни.

При незадовільній якості покриття його можливо видалити електролітичним шляхом, помістивши деталь як анод в ванну з електролітом з 10 - 15% -ного розчину їдкого натру. Катодом служить залізна пластина. Температура розчину 40 - 50 ° С, щільність струму 500 - 1000 А/м², тривалість витримки – 15 - 30 хв.

Нанесення цинкових покриттів

Характеристика методу. Електролітичне цинкування широко використовується для створення на деталях з чорних металів захисних покриттів від атмосферної корозії, а також впливу паливно-мастильних матеріалів і води. Захисна дія цинку від корозії щодо чорних металів обумовлена тим, що він має більший від'ємний електричний потенціал, ніж залізо. В гальванічній парі, яка утворюється, цинк є анодом і руйнується при збереженні металу захищаючи вироби. Процес цинкування не вимагає застосування дефіцитних матеріалів і простий в реалізації.

При виборі цинкових захисних покриттів слід враховувати, що завдяки пластичності і м'якості вони добре витримують вигини, а при температурі вище 250°С стають крихкими. Цинкуванню за ремонтування машин зазвичай піддаються кріпильні деталі, пружини, деталі трубопроводів тощо. Цинкові покриття непридатні для захисту деталей у вузлах тертя.

Товщина цинкових покриттів в залежності від умов їх експлуатації становить 10 - 30 мкм. Після цинкування тонкостінні деталі та пружини повинні піддаватися

термічній обробці для зневоднення (нагрів в сушильних шафах при температурі 150-180°C протягом 2 - 3 год).

Для підвищення протикорозійних властивостей цинкові покриття додатково піддають хромуванню і фосфатуванню, що забезпечує створення на покритті стійкою проти корозії плівки солей цинку.

Фосфатування особливо ефективно для деталей, що підлягають фарбуванню, оскільки воно забезпечує значне підвищення корозійної стійкості оцинкованих деталей.

Неякісні і старі цинкові покриття видаляють травленням в розчині сірчаної або соляної кислот.

Матеріали та обладнання для цинкування.

Електроліти і аноди. Для цинкування використовуються кислі і лужні електроліти. До перших відносяться сірчаноокислі або хлористі, а до других – ціаністі, цинкатні й аміакатні електроліти.

Кислі електроліти допускають високі значення щільності струму і виходу цинку за струмом (95 - 98%), а покриття мають підвищену пластичність, міцне зчеплення з основним металом і можуть піддаватися механічній обробці. Однак, ці електроліти в порівнянні з лужними забезпечують більш грубу структуру покриттів і меншу корозійну стійкість. Найбільшого застосування отримали сірчаноокислі електроліти, які використовують для цинкування деталей простої форми.

Лужні електроліти дозволяють одержувати покриття з вищою корозійною стійкістю і застосовуються переважно для цинкування деталей складної форми. Однак вони поступаються кислим електролітам за стійкістю.

Високу корозійну стійкість забезпечують ціаністі електроліти, які широко використовуються для цинкування виробів складної форми. Але вони відрізняються підвищеною токсичністю, і тому при їх застосуванні потрібні підвищені заходи безпеки. Замінниками ціаністих електролітів є цинкатні та аміакатні електроліти.

Цинкатні електроліти не отруйні, мають підвищену електропровідність та простий склад. Їх недоліком є необхідність підігріву, що ускладнює конструкцію обладнання і пов'язане з додатковими витратами енергії. Цинкатні електроліти застосовують для цинкування деталей складної форми. Для отримання світлих

покриттів до складу електроліту вводять олово. До найбільш ефективних замінників ціаністих електролітів відносяться аміакатні електроліти, які можуть використовуватися в ваннах всіх типів.

Для цинкування застосовують цинкові аноди марок ЦО, Ц1 і Ц2 у вигляді пластин, які з метою уникнення забруднення електроліту шламом поміщають в чохли з кислотостійкої тканини. Аноди періодично очищають травленням або щітками.

Ванни для цинкування. Електролітичне цинкування проводять в стаціонарних, церковних і барабанних ваннах. Стаціонарні ванни служать для цинкування великих деталей, які монтують на підвісні пристосування. Внутрішні стінки ванн облицьовують вініпластом або іншими кислотостійкими матеріалами.

Ванни дзвонового і барабанного типів призначені для цинкування дрібних деталей (гвинтів, болтів, гайок тощо). Дзвону або барабану надають обертання з частотою 8 - 15 хв⁻¹. У дзвонівій ванні електроліт заливається в дзвін, а анод у вигляді стрижня закріплюється нерухомо на спеціальному штативі і занурюється в електроліт. Недоліком в дзвонівих ваннах є швидке забруднення електроліту, що призводить до пористості покриття і знижує продуктивність цинкування.

У барабанних ваннах дрібні деталі засипають в перфоровані барабани, які зазвичай виготовляють з вініпласту або текстоліту. Барабан спеціальним пристроєм з направляючими опускають в ванну з електролітом і приводять в обертання спеціальним приводом, а аноди завантажують по обидві сторони барабана.

Нанесення мідних покриттів

Обміднення застосовують для поліпшення притирання поверхонь тертя деталей, запобігання сталевих деталей від спікання під впливом високої температури, нанесення підшару на деталі при їх покритті іншими металами. Мідні покриття застосовують також в технологічних цілях, наприклад, для полегшення пайки, захисту поверхонь деталей від науглецювання при цементації тощо. Мідні покриття мають хороше зчеплення з різними металами, яке зберігається при глибокій витяжці і розвальцьовуванні деталей, легко обробляються.

Технологічний процес міднення аналогічний хромуванню і залізненню. В залежності від призначення, товщина покриття може бути від 3 до 50 мкм.

Мідь має позитивний електричний потенціал у порівнянні до заліза і в гальванічній парі з ним є катодом. Тому мідне покриття лише механічно охороняє сталеві деталі від корозії. У зв'язку з цим мідні покриття, що застосовуються в якості захисних від корозії, повинні володіти достатньою щільністю. Завдяки хорошій зчіплюваності, пластичності і поліруваності мідні покриття широко застосовують як проміжний шар в багатошарових покриттях типу „мідь - нікель – хром”. Це дозволяє без погіршення захисних властивостей покриття в цілому знизити витрату дорожчого і дефіцитного нікелю.

Для електролітичного осадження міді застосовуються розчинні аноди з електролітичної міді марок МО і М1, а електроліз ведеться в кислому, лужному або пірофосфорному електролітах.

Кислий електроліт є найбільш простим. Він містить 200 - 250 г/л сульфату міді (мідного купоросу) і 50 - 75 г/л соляної кислоти. Процес ведеться при щільності струму 100 - 500 А/м², напрузі 4 - 6 В і температурі електроліту 16 - 20°C.

Переваги міднення в кислому електроліті - дешевизна вихідних матеріалів, великий вихід металу за струмом (0,98 - 0,99), висока швидкість відкладення міді (0,04 - 0,05 мм/год). Однак внаслідок витіснення міді залізом матеріал покриття виходить крупнокристалічним, пухким і недостатньо міцним. Це не дозволяє наносити мідне покриття безпосередньо на чорний метал, тому перед обмідненням на сталеві деталі наносять підшар нікелю.

Лужний електроліт містить як основний компонент ціаніди міді і натрію, що зумовлює виділення при електролізі парів синильної кислоти. Це вимагає герметизації ванни і надійної витяжки в процесі роботи.

Міднення ведеться при щільності струму 100 А/м², напрузі 4 - 6 В і температурі 30 - 35°C. Вихід металу за струмом становить 0,65 - 0,70. Істотною перевагою ціанистого електроліту в порівнянні з кислим є можливість безпосередньо осаджувати на сталеві і чавунні деталі високоякісні дрібнокристалічні осади міді.

Пірофосфорний електроліт об'єднує основні позитивні властивості кислого (дешеві матеріали і висока продуктивність осадження міді) і ціаністого (вища якість покриття і можливість його нанесення безпосередньо на сталь) електролітів.

Нікелювання

У ремонтному виробництві нікелеві покриття застосовують для захисту деталей від корозії, їх декоративного оздоблення, компенсації невеликого за величиною зносу замість хромування, як підшар перед мідненням або декоративним хромуванням і як ефективне зносостійке покриття. Нікелеві покриття після полірування набувають гарного декоративного вигляду.

У ремонтній практиці застосовують електролітичний і хімічний способи нікелювання.

Мікротвердість електролітичних нікелевих покриттів залежить від режиму електролізу і може сягає 7000 МПа. Вони мають дрібнокристалічну структуру і рівномірну товщину. Нікелеві покриття товщиною 0,025 мм добре захищають основний метал від корозії, оскільки нікель хімічно стійкий до впливу атмосфери, лугів і деяких кислот. У гальванічній парі із залізом, як і мідь, він виступає катодом. Тому нікелеве покриття захищає сталеві деталі від корозії тільки при відсутності пористості. Пористість зменшується зі збільшенням товщини покриття.

Властивості нікелевих покриттів істотно залежать від електроліту. Найбільш широко застосовуються сірчаноокислий електроліт, основним компонентом якого є сірчаноокислий нікель. Вони утворюють відносно м'які покриття з хорошими захисними властивостями. Процес ведеться при щільності струму до 10 А/дм². Вихід за струмом становить 0,80 - 0,95.

Використовуються також хлористі, фторборидні, сульфатні та інші електроліти. Хлористі електроліти застосовують при нікелюванні нержавіючих і жаростійких сталей. Фторборидний електроліт забезпечує вищу продуктивність через підвищену щільність струму (до 20 А/дм²) і стабільність процесу, а створювані покриття мають кращі, ніж при сірчаноокислих електролітах, властивості та хороше зчеплення з металом деталі.

При застосуванні сульфатного електроліту покриття володіють підвищеною пластичністю і незначними внутрішніми напруженнями. Електроліти цього типу мало чутливі до забруднень і допускають високу щільність струму (до 30 А/дм²).

Для отримання блискучих покриттів в електроліти вводять спеціальні добавки (блискоутворювачі), а також вирівнюючі добавки, які дозволяють знизити вимоги до якості поверхні перед нікелюванням за наявності ризик при необхідності отримання гладкого покриття.

Нікелеві електроліти дуже чутливі до хімічних домішок, які можуть потрапляти при розчиненні анодів і матеріалу підвісних пристосувань. Тому їх слід періодично піддавати електрохімічному очищенню і фільтрації. Кращі результати забезпечуються при безперервній фільтрації і повітряному перемішуванні електроліту. У цьому випадку вихід за струмом на оптимальних режимах досягає 90 - 98%.

При виборі режиму електролізу слід враховувати, що чим вища кислотність і температура електроліту, тим більше допустимі значення щільності струму і швидкості електролітичного процесу. Важливо підтримувати кислотність електроліту постійно, оскільки в іншому випадку погіршуються властивості покриттів і знижується їх зчеплення з металом деталі.

При нікелюванні застосовують розчинні аноди з технічного нікелю, що містить до 10% заліза, наприклад, марок НПА1 і НПА2 тощо. Для підвищення їх розчинності до складу електроліту вводять хлористий нікель, натрій або калій, а для запобігання забруднення електроліту шлаком аноди поміщають в спеціальні чохлаи.

Електроліт для нікелювання складається із (г/л): сірчаноокислого нікелю NiSO₄ (140), сірчаноокислого натрію Na₂SO₄ (50), борної кислоти H₃BO₃ (25), хлорного натрію NaCl (5), сірчаноокислого магнію MgSO₄ (10). Процес ведуть при щільності струму $D_k = 0,5 - 5$ А/дм² і температурі електроліту $t = 20^\circ\text{C}$. Вихід за струмом 90 - 95%.

Тверді і стійкі нікелеві покриття одержують з електроліту такого складу: щавлевоокислого амонію – 300 г/л, сірчаноокислого нікелю – 140 г/л, хлорного натрію – 10 г/л. Режим електролізу: щільність струму $D_k = 10$ А/дм², температура електроліту $t = 75 - 82^\circ\text{C}$. Аноди виготовляють із нікелю Н-1.

Призначенням *хімічного нікелювання* є формування твердих, стійких проти зношування покриттів. Основною перевагою такого способу визначається можливість нанесення на поверхні деталей із складним профілем рівномірного за товщиною осаду, яке виконується без застосування електричного струму.

Технологічний процес відновлення деталей хімічним нікелюванням включає механічну обробку, ізоляцію поверхонь, які не підлягають покриттю, миття і знежирювання, хімічне травлення, промивання водою, нікелювання і кінцеве промивання водою. Для хімічного нікелювання рекомендують такий склад розчину, г/л: сірчаноокислий (хлорний) нікель – 20 - 30, гіпофосфат натрію – 15 - 25, янтарноокислий (оцтовоокислий) натрій – 10 - 12. Осадження ведуть при температурі 90 - 92°C, рН = 4,5 - 5,5.

Хімічне нікелювання в порівнянні з електролітичним має наступні переваги: більш безпечні умови праці; значно простіше технологічне обладнання і відсутність потреби в складному енергетичному обладнанні; можливість отримання покриттів підвищеної твердості (до HRC 60 після термічної обробки) з високим опором абразивному зношуванню; можливість нанесення покриття на різні металеві і неметалеві матеріали; рівномірність товщини покриття як на зовнішніх, так і на внутрішніх поверхнях, включаючи вироби складної форми, наприклад, зубчасті колеса.

Недоліки цього методу - невисока продуктивність (швидкість осадження нікелю не перевищує 20 мкм/год), а також швидка зміна складу розчину в часі, через що його часто доводиться замінювати новим.

Нанесення неметалевих покриттів

Неметалеві покриття у вигляді захисних оксидних, фосфатних та інших плівок створюються на металевих деталях в результаті хімічного впливу на них розчинів певних речовин. Для цього деталі витримують певний час у відповідному розчині при температурі до 200°C.

Оксидування. Для отримання на поверхнях сталевих деталей захисної плівки з оксидів заліза застосовують оксидування в концентрованих лужних ваннах з

додаванням окислювачів. Розчин для оксидування зазвичай містить їдкий натр (650 г/л), азотнокислий натрій (200 - 250 г/л) і азотисто-кислий натрій (50 - 70 г/л).

Підготовлені деталі попередньо занурюють в гарячу олію, протирають ганчір'ям і потім завантажують в ванну при температурі розчину 125 - 130°C. Після цього розчин підігрівають до кипіння (140 - 145°C). Допускається підвищення температури на 3 - 5°C. Залежно від необхідної товщини плівки деталі витримують в киплячому розчині 30 - 60 хв. Більший час приймається для легованих сталей. В залежності від хімічного складу плівки можуть мати чорний або темно-коричневий колір з різними відтінками.

Товщина отриманої оксидної плівки залежить від хімічного складу і режиму оксидування. Вона повинна бути 0,6 - 1,0 мкм. При товщині менш як 0,6 мкм плівка не захищає основний метал від корозії, а при товщині більш як 1 мкм вона стає рихлою і неміцною. Мала товщина оксидних плівок дозволяє застосовувати цей процес для протикорозійного захисту оброблених деталей і деталей з гострими переходами між поверхнями, наприклад, з дрібними різьбами.

Наявні в оксидних плівках пори можуть стати місцем виникнення корозії. Тому луг видаляють з пор, для чого оксидовані деталі промивають в киплячому мильному розчині, а потім прогрівають їх в оліві при температурі 110 - 120°C. При цьому відбувається випаровування вологи з пор і заповнення їх оливою.

Неякісні покриття отримують при поганій підготовці деталей і порушення режиму оксидування (неправильна концентрація розчину, недотримання температури тащо).

Фосфатування представляє процес хімічної обробки металів, при якому на них створюються плівки, що складаються з нерозчинних солей фосфорної кислоти. У ремонтному виробництві фосфатування застосовують для захисту деталей від корозії (болти з різьбленням, шайби та інші деталі), поліпшення припрацювання тих, що труться, а також як ґрунт під лакофарбове покриття.

Фосфатуванню зазвичай піддаються сталеві деталі. В залежності від хімічного складу і умов отримання, товщина плівки може змінюватися від 7 до 42 мкм. Процес супроводжується травленням металу деталі і збільшенням шорсткості поверхні на 1 - 2 класи, що виключає можливість виконувати фосфатування деталей з точно

обробленими поверхнями, а також тих, що мають дрібні різьблення та інші конструктивні елементи з гострими крайками.

Фосфатні плівки зберігають механічні властивості в інтервалі температур $-75 - +500^{\circ}\text{C}$. Вони мають високу жаростійкістю і завдяки пористості добре утримують мастило. Тому фосфатні плівки ефективно застосовують для поліпшення підробітки деталей, що працюють при значних навантаженнях і високій температурі.

Для підвищення протикорозійних властивостей фосфатних плівок з підвищеною пористістю, деталі рекомендується після фосфатування витримувати в нейтральних маслах при температурі $110 - 120^{\circ}\text{C}$.

Фосфатування може виконуватися в розчині комплексу солей марганцю, заліза і фосфору („Мажеф”) і в розчинах, що містять монофосфат цинку. У першому випадку створюється покриття з нерозчинних солей марганцю, фосфору і заліза, а в другому – більш корозійностійкі плівки, що містять фосфати цинку і заліза.

У більшості випадків фосфатні плівки в порівнянні з оксидними володіють вищою захисною здатністю, проте значна товщина фосфатних плівок обмежує область їх застосування.

Оксидування або безлужне оксидування, служить для отримання оксидофосфатних плівок товщиною $1 - 3$ мкм. Процес ведуть в розчині, що містить хлористий цинк, азотнокислий барій і монофосфат цинку при температурі розчину $90 - 95^{\circ}\text{C}$. Час витримки деталей в розчині $15 - 20$ хв.

Створювані покриття відрізняються від звичайних оксидних і фосфатних плівок вищими антикорозійними, адгезійними і механічними властивостями. Наявність плівки такої товщини мало впливає на розмір деталі, тому даний процес застосовується для захисту оброблених деталей з точними різьбами і шліцами.

Важливими перевагами даного методу є скорочення до $15 - 20$ хв (приблизно в 2 рази) тривалості процесу нанесення покриття і менша витрата енергії. Завдяки цим перевагам оксидофосфатування застосовується все ширше, замінюючи інші хімічні методи нанесення покриттів. Його застосовують для захисту деталей від корозії, а також нанесення ґрунту на поверхні, що фарбуються.

2.11.4. Оброблювання деталей після нанесення електрохімічного покриття

По завершенню процесу деталі промивають водою і нейтралізують в лужних розчинах для видалення слідів електролітів і попередження корозій. Для цього використовують кальциновану соду в кількості 20 - 75 г/л при $T=15 - 30^{\circ}\text{C}$, $t=15 - 30$ с. Для підвищення корозійної стійкості покриття деталі пасивують в розчині 150 - 200 г/л двохлористого натрію: 8 - 12 г/л, H_2SO_4 $t=3 - 6$ с.; $T=15 - 30^{\circ}\text{C}$.

Термічна обробка служить для сушки і покращення властивостей покриттів. Їх сушать при $T=50 - 100^{\circ}\text{C}$, $t=5 - 10$ хв. При електролізі виділяється водень, що зменшує пластичність, а також міцність при втомі деталей. Ось тому для підвищення точності і стабільності розмірів деталі зневоднюють, нагріваючи їх при $T=180 - 230^{\circ}\text{C}$ на 2 - 3 год.

При механічній обробці м'які покриття точать, а тверді шліфують або хонінгують. При точінні залізних покриттів гексанітом - Р отримані кращі результати. Режим різання: $V_{\text{різ.}}=80 - 120$ м/хв; $S=0,02 - 0,08$ мм/об. і глибина $\delta=0,1 - 0,3$ мм. Геометрія різця: передній кут 2 - 6, головний кут в плані 45 - 60° , допоміжний кут в плані 10 - 15° і задній 7 - 10°; радіус закруглення вершин 0,2 - 0,8 мм.

Шліфують електрокорундовими кругами (25A25CM2K) $V_{\text{кр.}}=25 - 35$ м/с; $V_{\text{дет.}}=25 - 60$ м/хв; $S_{\text{попер. подачі}}=0,012$ мм; $S_{\text{повзд.}}=0,1 - 0,3$ ширини круга сильно охолодження не менш як 10 л/хв.

Розділ 3. СПЕЦИФІЧНІ МЕТОДИ ВІДНОВЛЮВАННЯ ТА ЗМІЦНЮВАННЯ ПОВЕРХОНЬ

3.1. Відновлювання деталей газотермічним напилюванням

Під відновленням деталей газотермічним напиленням розуміють процес нанесення покриттів розпиленням нагрітого до рідкого або в'язкотекучого стану диспергованого (порошкоподібного) матеріалу газовим струменем. Перед напиленням поверхню до напилення має бути підготовленою ретельним чином. Частинки розплавленого металу досягають поверхні в пластичному стані, маючи велику швидкість польоту. При контакті з поверхнею деталі вони деформуються і, проникаючи в її нерівності, утворюють покриття. Зчеплення покриття з поверхнею деталі носить в основному механічний характер і тільки в окремих локальних точках можна спостерігати мостки зварювання.

Відновлення деталей газотермічними покриттями має ряд незаперечних переваг:

- незначний нагрів (до 200°C) деталі;
- висока продуктивність процесів;
- можливість регулювання в широкому діапазоні (0,1 - 10 мм) товщину покриття, що наноситься;
- простота технологічного процесу і обладнання;
- широкий діапазон матеріалів, використовуваних для отримання покриттів із заданими властивостями.

Розглянутий спосіб дозволяє не тільки надавати деталям, які відновлюють, необхідну форму і розміри, але і змінювати в широких межах поверхневі властивості металопокриттів. В результаті багато деталей з дорогих і дефіцитних металів і сплавів можна за ремонтування замінити деталями з дешевших. Напилення на робочі поверхні спеціальних сплавів з необхідними фізико-механічними властивостями забезпечує нищу собівартість відновлення деталей, а показники їх надійності та довговічності не поступаються відповідним показникам деталей, виготовлених цілком з дорогого металу. Цим пояснюється широке застосування

газотермічних методів напилення не тільки за ремонтування, але і під час виготовлення нових деталей.

Основні технологічні операції гозотермічного напилення:

Очищення. Після розбирання деталі надходять в мийне відділення, де їх очищають від різних забруднень. Як миючі засоби застосовують синтетичні мийні засоби (СМЗ) типу лабомід і МЗ. Розчини СМЗ не спричинюють руйнацію деталей з алюмінієвих сплавів та не викликають корозії чорних металів.

Механічна обробка деталей. Для усунення дефектів, як виникли в процесі експлуатації, для придання правильної геометричної форми зношеним поверхням деталі піддають механічній обробці, в тому числі спеціальній (нарізання „рваної” різьби, фрезерування канавок, насічка поверхонь, накатка профілю роликками тощо).

Знежирення. Перед абразивною обробкою поверхні, на які будуть наносити газотермічні покриття, знежирюють органічними розчинниками. Чавунні деталі, крім знежирення, піддають випалу при температурі 260 - 530°C для вигорання оливи, яка містить порох.

Дробеструменева обробка. Така обробка призначена для активізації і надання шорсткості відновлюваним поверхням деталі. Дробеструменеву обробку виконують при тиску стисненого повітря 0,5 - 0,7 МПа. Як абразивний матеріал застосовують чавунний дріб ДЧК-01, кісточкову кишку або корунд, але не пісок (заборонено категорично). Після дробеструменевої обробки деталі обдувають сухим стисненим повітрям для видалення частинок абразиву з поверхні.

Сушіння порошку. Перед застосуванням композиційні порошкові матеріали необхідно просушити в електричній шафі. Порошки сушать на деках із нержавіючої сталі при періодичному перемішуванні.

Напилення. У процесі напилення металогазовий струмінь повинен бути стійким, без пульсацій. Витрату порошку і транспортувального газу регулюють в необхідних межах. Потрібну товщину покриття отримують багаторазовим повторенням операції напилення. Після напилювання виріб знімають з пристосування, не допускаючи пошкодження покриття. Екрани та інші захисні засоби знімають з деталей після охолодження їх до кімнатної температури;

Механічна обробка. Фінішна механічна обробка деталей з нанесеним покриттям здійснюється лезовим і абразивним інструментом;

Контроль якості покриттів. Вироби з покриттям піддають контролю за зовнішнім виглядом, товщині, геометричними розмірами. Контроль за зовнішнім виглядом здійснюється для виявлення зовнішніх дефектів: відколів, здуття, відшарувань, пор, розшарувань тощо. Огляд здійснюється за допомогою лупи. Товщину покриття на деталях визначають штангенциркулем, мікрометром або магнітним товщиноміром МТ-20.

Способи газотермічного напилення

В залежності від джерела енергії для нагріву і транспортування частинок матеріалу покриття розрізняють наступні способи напилення: електродугове, газополуменеве, високочастотне, полум'яне, детонаційне і зміцнення конденсацією металу з іонним бомбардуванням.

Газополуменеве напилення

Процес напилення. За такого випадку як джерело енергії для нагрівання частинок присадкового матеріалу використовують газокисневе полум'я. Для транспортування нагрітого напилюваного порошку на поверхню використовують стиснене повітря або газокисневий струмінь. Як газ найбільш часто в практиці ремонтного виробництва застосовують ацетилен або пропан-бутан.

Розглянемо два основних способи газополуменевого напилення. На рис. 3.1 а представлена перша схема газополуменевого напилення, в якій подача порошкоподібного присадкового матеріалу в зону полум'я здійснюється в результаті інжекції струменем кисню. В процесі напилення порошок з місткості, закріпленої на пальнику, після відкриття клапана надходить в канал пальника і захоплюється потоком транспортувального газу. При виході із сопла пальника порошкоподібний матеріал потрапляє в зону полум'я, де відбувається його оплавлення. У подальшому потоком полум'я газів порошок, що знаходиться в тістоподібному стані, подається на поверхню деталі, яку відновлюють.

У другому способі порошкоподібний присадковий матеріал подається з місткості безпосередньо в факел полум'я під дією сили тяжіння. Схема напилення з подачею порошку в факел полум'я під дією сил гравітації показана на рис. 3.1, б.

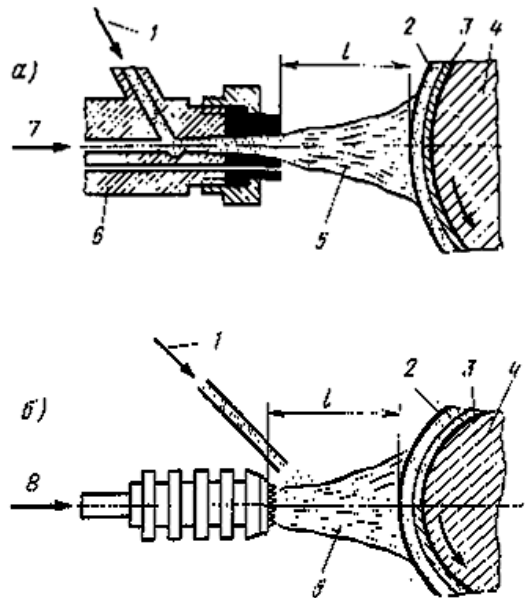


Рис. 3.1. Схема подачі порошка при газополуменевому напиленні: *а* – транспортувальним газом (інжекцією струменем газу); *б* – силою гравітації: *1* – подача порошку; *2* – напилений шар; *3* – підшар; *4* – деталь; *5* – факел полум'я; *6* – горюча суміш; *7* – транспортуючий газ; *8* – подача робочого газу; *l* – дистанція напилення

Переваги першої схеми газополуменевого напилення полягають в тому, що транспортування порошку до поверхні деталі проходить під дією струменя газу, а це зменшує міру окислення розплавлених частинок. У результаті підвищується якість напиленого шару і міцність зчеплення його з основним металом. Переваги другого способу зовнішньої подачі порошку полягають в простоті обладнання, можливості точного регулювання потужності полум'я і місця введення порошку в факел, відпадає необхідність в транспортуючому газі тощо.

Основними властивостями, які визначають експлуатаційну надійність відновлених напиленням деталей, є міцність зчеплення нанесеного шару матеріалу з основним металом. Міра зчеплення з основним металом визначається, в першу чергу, станом поверхні деталі, швидкістю польоту частинок, їх температурою, видом і станом матеріалу тощо.

Для підвищення міцності зчеплення газополуменевих покриттів відновлюваній поверхні надають необхідну шорсткість струменевою обробкою

корундом, колотим дробом, нарізуванням різьблення, накаткой роликом, електромеханічною обробкою та іншими способами. Чим більша шорсткість, тим і вище міцність зчеплення покриття з основним металом. Проте одночасно з цим знижується втомна міцність деталей.

На міцність зчеплення покриття з основним матеріалом значно впливає перший шар напилених частинок, що є своєрідним ґрунтом для наступних шарів. Зчеплення частинок першого шару з металом поверхні відбувається в найбільш несприятливих умовах. Це пов'язано з різким охолодженням частинок при контакті з холодною поверхнею деталі, в результаті чого їх пластичність знижується. З цієї причини змочування твердої поверхні відбувається в несприятливих умовах в порівнянні з змочуванням наступних шарів. Необхідні умови для виникнення молекулярних сил для більшості частинок відсутні через наявність окисної плівки на поверхні деталі і напилених частинках. Крім того, через значну різницю температур частинок і поверхні деталі в покритті по межах частинок виникають внутрішні напруження.

Однак кожний наступний шар частинок має вищу температуру, ніж температура поверхні деталі. Тому пластичність частинок присадкового матеріалу у всіх наступних шарах вища, ніж частинок граничного шару. В результаті цієї умови змочування частинок в кожному наступному шарі є більш сприятливими, ніж у першого шару. При високій температурі відбувається спікання частинок і усадка шару в цілому. У зв'язку з цим міцність зчеплення частинок між собою вище міцності зчеплення покриття з відновлюваної поверхнею.

Міцність зчеплення частинок присадочного матеріалу з основним металом можна збільшити, попередньо завдавши подслою з спеціальних матеріалів. Для подшару використовують молібден, нержавіючу сталь, екзотермічні композиції з суміші нікелю і алюмінію. Найбільш широке поширення отримали порошки, які при нагріванні вступають в екзотермічну реакцію. В результаті частки металу зварюються з матеріалом поверхні, яку відновлюють. Розміри зони сплаву незначні і лежать в межах 0,1 мм. Напилений шар має сильно розвинену поверхню. Завдяки високій температурі (більш як 1500°C) частинок металу підшару в момент контакту

з поверхнею основного матеріалу забезпечується висока міцність зчеплення і щільність покриття.

Схема поєднання часточок присаджувального матеріалу між собою й підшаром приведена на рис. 3.2. Унаслідок завершення процесів кристалізування й охолодження відбувається стискання частинок нанесеного металу і вони занурюються у основний метал. Поверхня контактування збільшується завдяки нерівностям мікрорельєфу відновлюваної деталі, що спричинює посилення дії міжатомарних сил на більших площах внаслідок пришвидження спікання частинок.

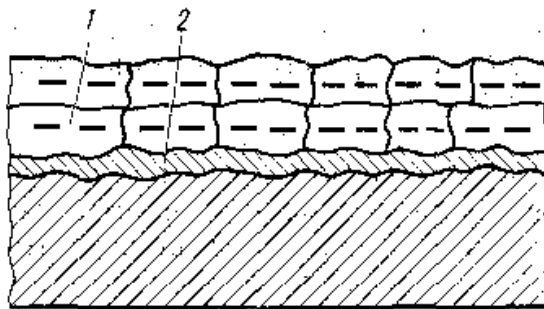


Рис. 3.2. Схема поєднання часточок присаджувального матеріалу: 1 – між собою; 2 – із підшаром

Важлива особливість даного процесу – нанесення металевих покриттів без суттєвого підвищення температури виробу, яка б викликала в ньому зміни і залишкові напруження. Цей спосіб має великі технологічні можливості і дозволяє наносити на зношені поверхні деталі спеціальні порошкові матеріали твердістю до HRC 35 - 50 і товщиною 0,3 - 0,6 мм. При цьому можливо наносити м'які, легкообробляємі покриття на чавунні та алюмінієві деталі. За допомогою цього способу можливо відновлювати сталеві і чавунні деталі, посадкові місця в корпусах та цілий ряд деталей перероблюючої промисловості.

Матеріали. Для реалізації напилення використовують широку номенклатуру матеріалів, включаючих в себе від самофлюсуючих сплавів системи нікель-хром-бор-кремній до сумішей порошків із вводом в сплави карбідів і боридів тугоплавких матеріалів: вольфрама, хрому, ванадія, молібдена. Для відновлення деталей, які працюють в умовах тертя, застосовують стійкі проти зношування порошки на основі

нікелю або дешеві сплави на основі заліза, які мають високі експлуатаційні і технологічні властивості.

Хімічний склад порошків на основі нікелю, %: нікель - 80, хром – 12 - 15, бор – 1,5 - 4, кремній – 0,5 - 4,0, вуглець – 0,3 - 1,0, залізо – 5,0. Марки порошків мають позначення, наприклад ПГ-ХН80СР2 (Х – хром, Н – нікель, С – кремній, Р – бор), де остання цифра (2, 3 або 4) характеризує процентний вміст всіх елементів, крім нікелю або заліза.

Порошкові сплави на основі нікелю мають низьку температуру плавлення (950 - 1050°C), регульовану твердість (35 - 60 HRC), рідкотекучість, високу стійкість проти зношування і властивості самофлюсування. А бор (Р) і кремній (С) у цих сплавах активно віднімають кисень від окисів. Головним недоліком цих сплавів є їх висока вартість.

Порошкові сплави на основі заліза з високим вмістом вуглецю мають низьку вартість, високу стійкість проти зношування, але більш тугоплавкі (температура плавлення 1250 - 1300°C) і не самофлюсуються. Ці сплави містять ферохром і карбіди бору (наприклад, сплав ФБХ-6-2), забезпечуючи твердість HRC 56-63. Застосовуються також композиційні порошкові суміші сплавів на основі нікелю і заліза. Наприклад, композиція ПС-1 являє собою суміш порошків у рівних пропорціях: на основі нікелю - ПГ-ХН80СР3 і на основу заліза - ПГ-У30Х28Н4С4 (твердий сплав сормайт).

Для підшару застосовують екзотермічний порошок із суміші алюмінія і нікеля, нержавіючу сталь тощо. Найбільш перспективними і доступними для напилення підшару - суміш алюміній-нікель, що містить 80 - 82% Ni і 18 - 20% Al - ПТ-НА-01.

Як основний матеріал на нанесення покриття отримала композиція самофлюсуючого порошку ПТ-ХН80СР2 або ПГ-10Н-01, ПТ-19Н-01, ПГ-19М-01. Розмір зерен порошків має бути 40 - 100 мкм. Перед застосуванням порошки мають бути просушені при температурі: 100 - 150°C упродовж 1 - 2 год. Порошкоподібні матеріали зберігають в герметичній тарі, яка виключає їх забруднення і окислення. Перед застосуванням порошки просушують в електрошафах при температурі 150 - 170°C упродовж 3 - 4 год при товщині засипки 10 - 15 мм і періодичному

перемішуванні матеріалу. Для сушіння використовують про-тівні з нержавіючої сталі. При попаданні чужорідних тіл порошок просівають через сита з розміром осередків 0,1 і 0,04 мм.

Обладнання. Дільниця для газополуменевого напилення повиненна складатися із такого обладнання. Компресор із робочим тиском при напиленні порошоків 0,4 - 0,5 МПа; камери для обробки деталей перед напиленням (дрібоструменевої); оливо- і вологовідділювача; кисню в балонах; ацетелена в балонах і редуктора кисневого ДКП-1-65; редуктора ацетиленового ДАП-1-65; шлангів для ацетилену тип 1; шлангів кисневих тип III довжиною 10-12 м; обертача і пальників.

Для напилення використовують пальники ГАЛ-4-72, ГАЛ-6-73, 021-3 Ремдеталь, 021-4 Ремдеталь, ОКС-5531 та інші.

Вказаний пальник монтується на стандартного пальника типу „Зірка” з наконечником № 6. Загальний вид пальника . ОКС-5531 показаний на рис. 3.3.

На випрямлений наконечник встановлена трубка 5, яка виконує роль радіатора і посилює жорсткість накінців'я. На трубку навернений багатосопловий мундштук-наконечник 5, виготовлений міді.

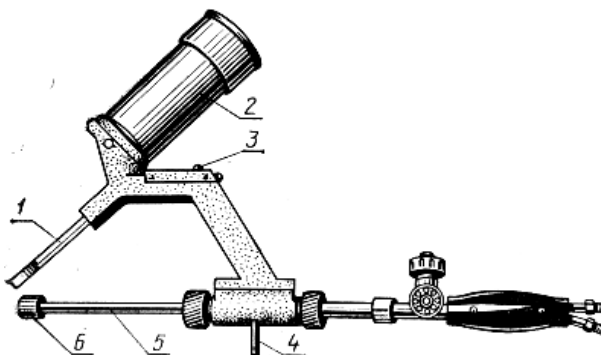


Рис. 3.3. Пальник ОКС-5531: 1– трубка, що підводить порошок; 2 – ємкість; 3 – курок; 4 – установлювальний штир, 5 – трубка газова; 6 – накінечник – мунштук.

Порошок у високотемпературну, зону полум'я подається з місткості 2 під власною вагою через отвір дозуючої шайби, що калібрується, і запірний клапан через трубку, що підводить 1. За допомогою ручного перемикача 3 і клапана регулюють кількість порошку, що подається, в зону полум'я. Закріплюється пальник на верстаті або обертачі за допомогою спеціального штиря 4. Заміна багатосоплового наконечника і дозуючої шайби дозволяє регулювати потужність

полум'я і продуктивність пальника а широкому діапазоні. Продуктивність порошку – 8,0 - 9,5 кг, витрата ацетилену при напilenні – 200 - 1000 л/год, кисню – 220 - 1150 л/год; тиск ацетилену – 0,025 - 0,15 МПа, кисню – 0,15 - 0,4 МПа; маса – 2,3 кг

Для напilenня порошоків типу СНГН і ВСНГН, що самофлюсуються, подальшим оплавленням використовуються пальники ГАЛ-4-72, ГАЛ-6-73 при зовнішній подачі порошку і ГАЛ-2-63 при подачі порошку транспортуючим газом, розробленій ВВП-автогенмашем. Згідно з ТУ 26-05-1-2 пальник ГН-2 має такі основні технічні характеристики: діапазон товщин наплавлюваного шару – 0,3 - 4 мм; витрата ацетилену – 350 - 600 л/год; витрата порошку при безперервній подачі в полум'я – 2,0 кг/год; коефіцієнт використання порошку – 75%; кисневі витрати – 350 - 600 л/год; тиск кисню не більш як 0,2 - 0,35 МПа (для мунштука № 4); тиск ацетилену не меш ніж 0,1 МПа. Для газопорошкового гаплпвллювання застосовують пальник ГАЛ -2 (малютка), див. рис. 3.4.

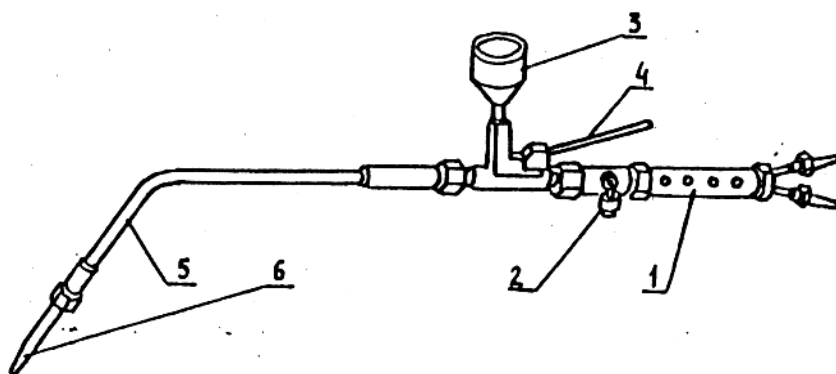


Рис. 3.4. Пальник для газопорошкового наплавлювання: 1)- корпус; 2)- вентиль; 3) – контейнер для порошку; 4)- ручка; 5)- трубка; 6)- мунштук.

Послідовно чергуючи процес напilenня і оплавлення, забезпечують необхідну товщину шару. Наплавлення ведуть навуглецьозувальним полум'ям. основного шару. Наплавляти треба так, щоб „теплова вісь” проходила через центри маси деталі. У кулачків рекомендується почергово наплавляти діаметрально розміщені поверхні від вершини до затилкової частини, починаючи з крайніх кулачків до середини. Кількість проходів визначається зношенням кулачка і припуском на наступне механічне оброблення.

Після наплавлення, для запобігання тріщинам у наплавлених шарах, охолодження рекомендується виконувати у піску або азбестовій шубі. Якість

наплавлених покритті на відсутність спучування, тріщин, сколів і відшарувань контролюють візуально. Для вибіркової перевірки застосовують лупу 10-кратного збільшення ЛП-4.

Проведені дослідження дали змогу встановити параметри режиму наплавлення газопорошковим способом кулачків розподільчого валу та обґрунтувати їх. Встановлено, що при витраті кисню – 380 - 400 л/год; витраті ацетилену – 300 - 350 л/год і тиску кисню 0,25 МПа можливо нанести покриття товщиною до 2 мм. Воно має міцність з'єднання із основним 450 МПа і твердість HRC 45 - 50, а це задовольняє умови якісного відновлення кулачків газорозподільчих валів.

Розроблений пост для проведення газополуменевого напилення з уніфікованими обертачем і блоками вертикальною горизонтальною подачею ОКС-5563, ОКС-5564, ОКС-5565. Пост призначений для відновлення циліндричних і плоских поверхонь деталей сільськогосподарської техніки. Особливість поста – автономність роботи уніфікованих блоків і автоматизація процесу переміщення пістолета для нанесення покриттів щодо відновлюваних поверхонь деталей. За допомогою поста можна відновлювати деталі діаметром до 200 мм і завдовжки до 600 мм. Товщина напилюваного шару – до 2 мм. Продуктивність поста – 80 - 100 см²/хв.

Застосовують установки для газополуменевого напилення деталей типу вал 011-1-09 і колінвалів 011-1-01. Установки працюють в напівавтоматичному режимі. Продуктивність установок – 80 - 100 см²/хв, товщину до 2 мм; діаметр відповідно деталі до 190 мм, довжина напилюваної деталі – 800 мм; частота обертання шпінделя – 0,75 - 150 об/хв.; швидкість переміщення пальника – 0,9 - 180 мм/хв.

Визначальну роль в зчипленні порошку з основним металом грає міра підготовки поверхні відновлюваної деталі перед напиленням, що полягає в видаленні вологи і оливи, а також створення необхідної шорсткості.

Напилення проводять в два етапи. Перший етап – напилення підшару порошком Al-Ni; 0,06-0,1 мм, другий – напилення основного шару порошку. Перед напиленням підшару поверхню деталі нагрівають до 100- 150° С і його наносять за один прохід. Напилення шару порошку як підшару, так і основного проводять при

режимах: тиск кисню – 0,35 - 0,45 МПа, тиск ацетилену 0,03 - 0,05 МПа, витрата кисню – 960 - 1000 л/год, витрата ацетилену – 900 - 1000 л/год.

Діапазон напилювання – 160 - 180 мм, швидкість обертання деталі – 18 - 20 м/хв, повздовжня подача апарату – 3 - 4 мм/об., витрати порошкового матеріалу – 2,5 - 3,0 кг/год.

Основний шар порошоків наносять за декілька проходів до відновлення номінального розміру деталі і створення припуску на обробку. Твердість HRC – 40 - 60, пористість 17 - 18 %, міцність зчеплення 15 - 18 МПа.

Газополуменеве напилювання порошоків може застосовуватись без оплавлення і з оплавленням напиленого шару. В останньому випадку значно поліпшується міцність зчеплення з основним металом і підвищується стійкість відносно знакозмінних навантажень на деталь у процесі експлуатації.

3.2. Відновлювання деталей машин металізуванням

Процес характеризується тим, що отримання розплаву здійснюється в результаті тепла електричної дуги, що горить між двома електродними дротами, а розпилення здійснюється струменем стисненого повітря. Метал розпорошується до частинок розміром 10 - 50 мкм, товщина шару може досягати 12 мм і вище. Однак його міцність і стійкість до динамічних навантажень низька. До інших недоліків слід віднести перегрів і окислення напилюваного матеріалу і вигорання легувальних елементів присадкового металу. Наприклад, вміст вуглецю в сплаві, що формує покриття зменшується на 40 - 60%, а марганцю і кремнію – на 10 - 15%. До переваг електродугової металізації відноситься висока продуктивність процесу (до 65 кг/год), висока зносостійкість покриття, а також простота і технологічність процесу.

Відновлення деталей електродуговою металізацією (напиленням) включає підготовку поверхні до нанесення покриття, безпосередньо напилення і наступну механічну обробку. Напилення як би складається з трьох процесів: переведення електродного дроту в рідку фазу, розпилення розплаву струменем повітря і формування покриття. Процес плавлення металу електродного дроту характеризується високою температурою горіння електричної дуги, циклічністю та

швидкоплинністю явищ, що протікають в зоні плавлення. При плавленні дроту в процесі електродугової металізації (напилення) відбуваються такі цикли явищ:

- горіння дуги між електродами і плавлення їх;
- перший розрив електричного ланцюга електродів;
- коротке замикання і подальше плавлення електродів;
- іскровий розряд, що запалює нову дугу.

Розплавлення матеріалу електродів відбувається і в момент горіння і короткого замикання дуги. У моменти розривів електричного кола електродів плавлення металу не відбувається. Тривалість кожного з зазначених циклів становить тисячні частки секунди. Тривалість періоду горіння дуги при роботі електродугового металізатора на змінному струмі становить 43 - 49,5% від тривалості циклу всіх явищ. Тому температура рідкого сплаву при різних розглянутих циклах різна. Найвища температура буде при горінні дуги. Це сприятливо діє на утворення великого числа дрібнодисперсних частинок металу. У той же час при короткому замиканні температура розплаву буде нижча, і розпил виходить з частинками більшими за розміром.

На структуру і властивості шару значно впливає швидкість руху частинок, їх маса і розміри, температура під час польоту. Більшість цих факторів залежить від режимів електродугової металізації.

Металізація є одним найбільш поширених методів відновлення зношених поверхонь і полягає в нанесенні на деталь покриття без розплавлення її поверхневого шару. Покриття наносяться на метали, пластмаси, скло, дерево, кераміку та інші матеріали, оскільки в процесі напилення температура виробів змінюється незначно і зазвичай не перевищує 150 - 200°C, що вигідно відрізняє її від електродугового наплавлення. Для створення покриттів використовуються різні метали, сплави та їх сполуки (оксиди, нітриди, карбіди тощо). Товщина покриття зовнішніх поверхонь тіл обертання може бути 0,3 - 10 мм і більше без погіршення міцності зчеплення. При металізації внутрішніх поверхонь деталей типу втулок граничною вважається товщина 2,5 - 3,0 мм, оскільки при більшій товщині можливе відшаровування покриття під дією внутрішніх напружень.

Різноманіття вживаних для покриттів матеріалів і широкий діапазон товщини нанесеного шару дозволяє отримати при відновленні деталі таке поєднання властивостей, коли, наприклад, її міцність забезпечується завдяки застосуванню одного матеріалу, а зносостійкість, опір корозії або інших шкідливих дій – шляхом створення на поверхні деталі шару іншого матеріалу з відповідними властивостями. Формування поверхневого шару з різних матеріалів дозволяє отримувати вироби з комплексом властивостей, які складно і економічно менш вигідно забезпечувати завдяки будь-якому одному конструкційному матеріалу.

Область застосування металізації при відновленні деталей:

- Відновлення зношених зовнішніх і внутрішніх поверхонь деталей машин переважно циліндричної форми (наприклад, валів, штоків, втулок, вкладишів підшипників, цільних підшипників тощо);

- Створення на деталях поверхневого шару з певними властивостями (зносостійкого, корозійно-стійкого, антифрикційного, жаростійкого, з підвищеною теплопровідністю або електропровідністю тощо);

- Нанесення захисно-декоративних покриттів.

Застосування металізації особливо ефективно при відновленні великих деталей, коли вартість металізації не перевищує 10% вартості деталі.

Механізм металізації полягає в наступному. Напилюваний метал у вигляді дроту, прутків, шнурів або в порошкоподібному стані розплавляється в спеціальній установці будь-яким джерелом тепла і за допомогою струменя стиснутого повітря або інертного газу розпилюється на дрібні частинки розміром від 3 до 300 мкм, які цим же струменем переносяться на спеціально підготовлену поверхню деталі. Більшість частинок металу за час польоту від зони плавлення до поверхні деталі, охолоджуючись, переходять з рідкого стану в пластичний або твердий. При ударі об деталь тверді частинки розплющуються, охоплюючи нерівності на її поверхні і зчіплюються з нею. Крім того, розплющені і розірвані краї сусідніх частинок переплітаються і міцно з'єднуються між собою. В результаті зіткнення між собою і з деталлю частки металу утворюють на її поверхні покриття. Чим більша швидкість частинок, а отже, сила удару, тим міцніше зчеплення частинок з деталлю і між собою.

Напилення покриття здійснюється на практично холодну підкладку, тому при охолодженні крапель (часток) напилюваного шару в ньому виникають внутрішні („усадкові”) напруження. Таким чином, напилюваний метал з’єднується з деталлю через механічне зчеплювання, адгезію, часткове зварювання і дію внутрішніх напружень.

Методи металізації. Залежно від джерела плавлення присадкового матеріалу розрізняють наступні методи металізації: газотермічним (газополуменевий), електротермічний (електродугової, високочастотний, плазмовий) і детонаційний.

Характеристика методів металізації

При газотермічній металізації (напиленні) джерелом теплової енергії є полум’я, що утворюється в результаті горіння суміші кисню і горючого газу (ацетилену, метану тощо). При електродуговій і плазмовій металізації (напиленні) джерелом є електрична дуга, що горить між електродами в потоці газу, при індукційному - тепло, що виділяється у виробі і матеріалі під дією індукованих в них струмів, а при детонаційному методі – енергія вибуху.

Для електродугового напилення в якості присадкового матеріалу використовують дріт, для детонаційного – порошок, а для газополуменевого і плазмового методів - обидва види матеріалу.

Технологічний процес металізації.

Технологічні процеси нанесення покриттів різними методами металізації мають однакові стадії і багато спільних операцій. Розглянемо типовий технологічний процес відновлення деталей із застосуванням металізації. У загальному випадку він включає наступні основні операції: очищення і знежирення деталі; попередню механічну обробку поверхонь; формування на поверхні певного рельєфу і шорсткості; захист поверхонь, які не підлягають покриттю; видалення технологічних забруднень; нанесення покриття; очищення деталі і зняття з неї захисних пристроїв, остаточна обробка деталі; контроль якості обробки і покриття. У ряді випадків для підвищення міцності зчеплення металізованого шару з деталлю і його якості застосовують зазначені вище спеціальні методи, а також регулюють швидкість охолодження деталі після металізації.

Очищення і знежирення деталі. Деталь, яку напиляють, повинна бути очищена і знежирена відповідними методами і засобами в залежності від виду забруднення.

Попередня механічна обробка поверхонь. Вона необхідна для усунення дефектів деталі і додання правильної геометричної форми зношеним поверхням, а також для забезпечення рівномірної товщини нарощуємо шару (не менш як 0,5 мм) після остаточної обробки деталі.

Формування на поверхні певного рельєфу і шорсткості. Для хорошого зчеплення розпорошених частинок металу з деталлю поверхня повинна мати певну шорсткість, яка створюється спеціальною обробкою при підготовці поверхні до металізації. Форма шорсткості повинні бути такою, щоб середні за розміром напилювані частки могли заповнити поглиблення, не перекриваючи їх вершини. Необхідні для цього рельєф і шорсткість поверхні забезпечуються обробкою різанням, дрібоструменевою або піскоструменевою обробкою, накочуванням, електродуговим, електроіскровим та іншими методами.

Підготовка циліндричних поверхонь механічною обробкою полягає в нарізуванні трикутної різьби та проточуванні канавок. На торцевих поверхнях кругові і спіральні канавки обробляють на токарних або карусельних верстатах. У плоских деталей канавки обробляють на стругальних верстатах, при цьому вони повинні розташовуватися перпендикулярно напрямку дії навантаження.

Краще зчеплення забезпечується при нарізанні „рваної” різьби кроком 0,8 - 1,2 мм і глибиною 0,6 - 0,8 мм, для отримання якої різець встановлюють зі збільшеним вильотом і на 3 - 6 мм нижче осі деталі, а обробку ведуть за один прохід. Через вібрації, що виникає при такій установці різця, зростає шорсткість поверхні різьби. На галтелях різьблення не нарізають. Для запобігання викришуванню покриття поблизу торців деталі проточують канавки шириною 2 мм.

Дрібоструменева і піскоструменева обробка виконуються на спеціальних установках відповідно чавунним дробом ДЧК-01 діаметром 0,4 - 0,5 мм або сухим кварцовим піском зернистістю 1 - 1,5 мм для тонких деталей і 2 - 2,5 мм – для товстих деталей. Оптимальний тиск повітря при обробці сталевих і чавунних деталей – 0,6 МПа. Повітря повинно бути очищене від вологи, а оливи в спеціальних

оливовологовіддільниках. Після такої обробки деталей обдувають сухим стисненим повітрям для очищення від сторонніх часток. Проміжок часу між обробкою і нанесенням покриття не повинен перевищувати 30 хв, через небезпеку утворення на поверхні нових оксидів і зниження міцності зчеплення.

При підготовці поверхні електродуговим методом між електродом і деталлю створюється електрична дуга при подачі в неї струменя стиснутого повітря. В результаті на поверхні утворюються поглиблення і напливи, здатні з достатньою міцністю утримувати напилений шар.

При виборі методу підготовки поверхні до металізації слід враховувати, що нарізування різьблення, проточка канавок і електродугова обробка знижують, а піскоструменева та дробеструменева обробка, методи пластичного деформування, навпаки, підвищують міцність деталей від втоми. У зв'язку з цим підготовку поверхні обробкою різанням рекомендується застосовувати тільки для деталей, що працюють в умовах невеликих знакозмінних навантажень або мають достатній запас міцності. З метою підвищення втомної міцності нарізану під покриття різьбу слід піддавати дробеструменевій обробці.

Захист поверхонь деталі, що не підлягають покриттю. Ділянки деталі, які не підлягають металізації, захищають від попадання на них розпорошеного металу за допомогою екранів з жерсті, азбестових листів або інших матеріалів. Отвори і канали повинні бути закриті пробками (заглушками).

Видалення технологічних забруднень. Сліди оливи та інших забруднень на відновлюваній поверхні різко знижують міцність зчеплення покриттів. Тому підготовлена до металізації поверхню деталі повинна ретельно очищатися і надалі зберігатися від забруднення до нанесення покриття.

Деталі попередньо знежирюють в 10% -ному нагрітому до температури 70-80°C розчині лугу NaOH або соди Na₂CO₃, органічними розчинниками, мийними засобами і т.д., промивають гарячою водою і сушать. Для видалення оливи та інших забруднень з отворів, каналів, канавок тощо деталь рекомендується додатково знежирити в розплаві солей. Чавунні деталі, крім знежирення, витримують при температурі 260 - 530°C для вигорання оливи, що міститься в порах. Безпосередньо

перед металізацією поверхні деталі, на які напилюється покриття, і прилеглі до них на відстані 15 - 20 мм ділянки додатково знежирюють уайт-спіритом або бензином.

Підготовлені таким чином деталі слід зберігати в закритих стелажах. Час їх зберігання до металізації не повинно перевищувати 2,5 год, щоб уникнути окислення. Кращі ж результати виходять, якщо металізація проводиться протягом 10 - 15 хв після підготовки деталі.

Нанесення покриття. Металізація тіл обертання здійснюється із застосуванням ручних або механізованих установок з пристроєм для відсмоктування утвореного металевого пилу.

Для отримання високої якості покриттів струмінь розпиленого металу направляють перпендикулярно до осі оброблюваної деталі на певній для кожного методу відстані від сопла пальника до деталі. Спочатку металізують галтелі, виступи, а потім рівномірно всю поверхню до отримання заданої товщини покриття. Швидкість обертання деталі і переміщення металізатора залежать від його технічних характеристик і застосовуваного методу металізації. Температуру напиляного шару періодично контролюють, щоб деталь не нагрівалася вище 80°C. При необхідності, використовують систему примусового охолодження виробу – деталі. При умові перегріву деталі процес металізації переривають і відновлюють його після її охолодження до допустимої температури.

Схема плазмової металізації приведена на рис. 3.5.

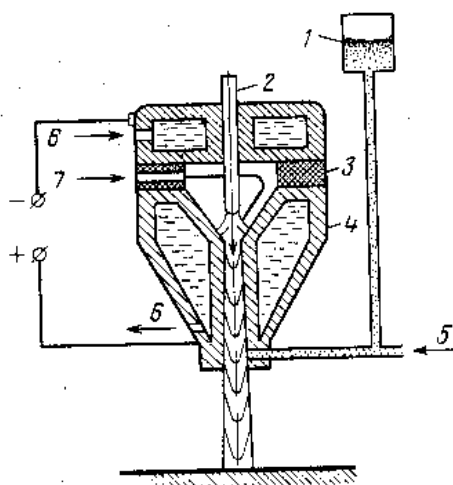


Рис. 3.5. Схема процесу плазмової металізації (напилення): 1 – порошковий дозатор; 2 – катод; 3 – ізолювальна прокладка; 4 – анод; 5 – транспортувальний газ; 6 – охолоджувальна рідина (вода); 7 – плазмоутворювальний газ

Нанесення покриттів на деталі, які не можна встановити на верстат, зазвичай проводиться вручну в кабіні, обладнаній установкою для видалення пилю, що утворюється.

Обробка деталі після металізації. Необхідні геометричну форму, розміри і якість металізованих поверхонь отримують механічною обробкою. Залежно від твердості покриття і технічних можливостей виробництва механічна обробка проводиться лезовим і абразивними інструментами. Використання затуплених інструментів приведе до відшарування і сколювання покриття.

Після чистої обробки шліфуванням шийки валів насичуються оливою при температурі 120°C упродовж 2 - 3 год. Металізовані поверхні, що не працюють на тертя, покриваються оліфою або олійною фарбою.

Контроль якості покриттів. Для досягнення високої якості покриття технічний контроль металізації деталей здійснюється на всіх етапах технологічного процесу: підготовки поверхні, нанесення покриття та його механічної обробки. Покриття повинне мати міцне зчеплення з основою. Не допускаються тріщини, відшарування, раковини і спучування всередині і на поверхні нанесеного шару. Деталі з покриттям піддаються контролю за зовнішнім виглядом, товщині, геометричних розмірів. Контроль за зовнішнім виглядом проводиться за допомогою лупи з метою виявлення зовнішніх дефектів покриття - відколів, здуття, лущення тощо. Геометричні параметри деталі і покриття контролюються універсальними обмірними інструментами.

Матеріали для напилення деталей

Для напилення покриттів використовують дрід і порошки. Для газотермічного напилення (дугового та високочастотного) використовують зварювальні та зносостійкі наплавлювальні дроти підвищеної точності виготовлення. При відновленні сталевих і чавунних деталей металізацією найбільш часто застосовується сталевий дрід діаметром 0,8 - 3,0 мм з вмістом вуглецю 0,3 - 0,8% в залежності від матеріалу відновлюваної деталі і вимог до нанесеного металу. При відновленні нерухомих поверхонь можна застосовувати дрід з вмістом вуглецю

0,3%, а для поверхонь, що працюють в умовах тертя, необхідно застосовувати дріт з підвищеним вмістом вуглецю і легувальних елементів.

Для протикорозійних покриттів використовують цинковий, алюмінієвий і сталевий дріт (зі сталі 10X18H10T). Дріт з алюмінієвої бронзи застосовують для отримання антифрикційних покриттів відповідальних підшипників ковзання.

Для створення різних за властивостями покриттів найбільш технологічні при газотермічній металізації є порошки. Вони є основним матеріалом, використовуваним при газополуменевому, плазмовому, лазерному і детонаційному методах нанесення покриттів. Застосування порошоків в якості матеріалів дозволяє змінювати фізико-механічні та триботехнічні властивості робочих шарів, отримувати зносостійкі, тверді, щільні і пористі покриття. В останньому випадку це забезпечує, наприклад, сприятливі умови нанесення мастила на поверхні тертя при обмеженому надходженні мастильних матеріалів.

Основна сфера застосування порошоків матеріалів – ремонтне виробництво для відновлення зношених деталей машин. Однак перспективним є використання цих матеріалів і при виготовленні нових деталей.

Якість порошоків для газотермічного напилення регламентують стандартами (наприклад, ГОСТ 21448-75, IAS 02194). До фізичних властивостей порошку відносяться форма і розміри частинок, питома поверхня, щільність, мікротвердість, теплоємність, теплопровідність, теплота плавлення та коефіцієнт лінійного розширення. Основні хімічні властивості порошоків визначаються наявністю в них основного металу, легувальних елементів і домішок. До технологічних властивостей зазвичай відносять здатність до спресовування та формування, форму частинок, витрату порошку на 1 кг наплавленого металу тощо. Основними характеристиками, що визначають придатність порошку для напилення, є пливучість, гранулометричний склад порошку (мінімальний і максимальний розміри частинок, їх форма), схильність до злипання і комкуванню, стабільність гранулометричного і хімічного складів тощо. Найважливіша технологічна характеристика порошку – пливучість, тобто його здатність впливати з певною швидкістю через отвір.

Практично всі промислові порошки являють собою полідисперсні системи, що складаються з різних за величиною частинок. За гранулометричним складом порошки класифікують наступним чином:

- ультратонкий порошок (розмір частинок менш як 0,5 мкм);
- вельми тонкий порошок (0,5 - 10 мкм);
- тонкий порошок (10 - 40 мкм);
- порошок середньої крупності (40 - 150 мкм).
- крупний порошок (150 - 300 мкм).

Розміри і форму частинок порошку встановлюють з умов забезпечення надійної, рівномірної подачі частинок порошку в газовий струмінь і повідомлення їм необхідної кінетичної і теплової енергії. Цим вимогам відповідає сферична форма частинок порошку. Розмір частинок порошку повинен бути таким, щоб вони прогрівалися до необхідної температури і володіли кінетичною енергією, достатньою для утворення міцного зв'язку при зіткненні з оброблюваною поверхнею. Наприклад, великі (понад 150 мкм) частинки не встигають прогрітися, що перешкоджає утворенню міцного зв'язку з підкладкою.

Оскільки порошки гігроскопічні (інтенсивно поглинають вологу), їх слід зберігати в герметичній тарі або металеві порошки перед нанесенням прожарювати при 150 - 200°C, а керамічні – при 600 - 800°C.

Для отримання зносостійких покриттів можуть застосовуватися такі групи порошків:

- порошки з самофлюсувальних сплавів на нікелевій, нікель-хромовій і кобальтовій основі, які найбільш широко застосовуються для газополуменевого напилювання з подальшим оплавленням покриттів. Самофлюсування забезпечується наявністю в складі порошків бору і кремнію. Важливою перевагою цих порошків є те, що при їх оплавленні не потрібно застосування захисного середовища (флюсу, газу). Вони надають покриттю комплекс цінних експлуатаційних властивостей: зносостійкість, ерозійну і корозійну стійкість, задовільну стійкість до високотемпературного окислення. Недоліки – висока вартість, дефіцит основних компонентів сплавів. Промисловістю випускаються десятки марок самофлюсувальних сплавів на нікелевій основі. Ці сплави мають

досить низьку температуру плавлення (980 - 1080°C), добре змочують поверхню основи, мають високу зносостійкість, корозійну і жаростійкість. До складу хромонікелевих сплавів входять присадки бору (1 - 5%) і кремнію (1 - 4%), які знижують температуру плавлення і сприяють самофлюсуванню.

Порошки на основі хромонікелевих і хромистих сталей з добавкою карбідів і боридів, наприклад, сплави марок ХТН 23, ФТН 69, ХВП 3, ВТН 26 тощо. Розмір фракцій 40 - 100 мкм. Твердість плазмових покриттів з цих сплавів HRC 60 - 62. За зносостійкістю ці порошки конкурують із самофлюсувальними сплавами.

Порошки з чистих металів і металевих сплавів. Порошок чистих металів (молібдену і нікелю), добре змочують сталі і чавуни, застосовують в основному для отримання підшару. Порошок бронз (Бр-10, БрАЖ9-4, БрОФ-1 ін.) Використовують як антифрикційні покриття в парах тертя для заміни бронзових деталей на чавунні або сталеві з відповідним покриттям і підвищення їх триботехнічних характеристик.

Порошки з карбідів і оксидів металу. Тугоплавкі сполуки застосовуються, в основному, з підшаром із металевих порошоків. Тільки детонаційне напилювання уможливило нанесення робочих шарів деяких покриттів, уникаючи підшарів.

Механічні суміші порошоків. Суміші на основі перерахованих вище груп порошоків знаходять все більшого застосування для газотермічної металізації (напилення) завдяки простоті і невисокої вартості їх виготовлення. Однак, використання механічних сумішей порошоків має суттєві недоліки, головним з яких є розшарування компонентів при змішуванні, транспортуванні з дозувальних пристроїв в струмінь, а також в процесі її напилення. Розшарування компонентів сумішей приводить до формування нерівномірної структури, підвищення поруватості, зниженню міцності й експлуатаційних характеристик покриттів.

Механічно створені суміші не піддаються стандартизації, тому їх склади, як правило, підбирають шляхом досліджування. Виготовлення таких сумішей не передбачають застосування спеціальних способів утворення, а виготовляються або спіканням з подальшим подрібненням, або у процесі звичайного механічного перемішування з використанням будь-якого обладнання.

Композиційні порошки являють собою інтегровані комплекси вихідних компонентів (метал, кераміка, пластмаса тощо) в кожній порошковій частці. Вони діляться на ті, що реагують при нагріванні і термонеїтральні. У першому випадку утворюються покриття, що містять нові речовини, що відрізняються від вихідних, а в другому їх склад не змінюється.

У промисловості використовуються понад 200 типів порошків, з яких 16% – метали, 32% – сплави, 20% – механічні суміші, 15% – композитні порошки, 10% – оксиди, 7% – тугоплавкі сполуки і тверді сплави. Номенклатура порошків постійно розширюється в основному завдяки використанню композитних порошків і механічних сумішей.

3.3. Високочастотне напилювання під час відновлення деталей

При такому способі напилення переклад матеріалу покриття (дроту) в рідку фазу здійснюється нагріванням струмами високої частоти. Розпилення розплаву виконується струменем стисненого повітря.

Розпилювальна головка високочастотного металізатора представлена на рис. 3.6. Живлення індуктора апарату здійснюється від лампової високочастотної установки відносно невеликої потужності, наприклад ВЧІ4-10/0,44 або ВЧІ-25/0,44 (потужність відповідно 10 і 25 кВт, робоча частота - 440 кГц).

Фізико-механічні властивості покриття, нанесені високочастотним напиленням, значно вище аналогічних властивостей покриттів, отриманих електродуговим напиленням. Це пояснюється більш сприятливими умовами плавлення матеріалу покриття (дроту). Коливання розмірів розпилених частинок і їх температура при газополуменевій металізації за перетином конуса розпилу змінюються у вузькому діапазоні, ніж при електродуговій. Тому вигорання основних хімічних елементів знижується в 4 - 6 разів, насиченість покриття оксидами зменшується у 2 - 3 рази. Менша окислюваність частинок покриття покращує умови змочування частинками поверхні деталі, яку відновлюють. При даному способі напилювання міцність зчеплення частинок між собою і підкладкою підвищується. Крім того, конструкції апаратів для високочастотного напилення забезпечують

розпилення металевих частинок у формі правильного конуса з малим кутом при вершині, що в кінцевому підсумку забезпечує зниження неефективних втрат матеріалу покриття (дроту).

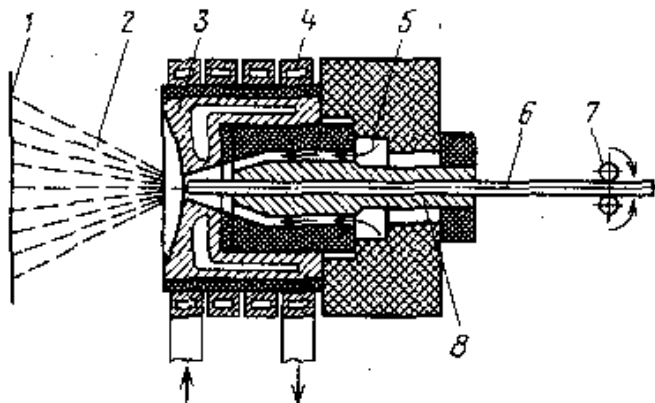


Рис. 3.6. Роспилювальна головка високочастотного напилювання: 1 – поверхня для напилювання; 2 – газометалічний струмінь; 3 – концентратор струму; 4 – індуктор; 5 – повітряний канал; 6 – дріт; 7 – подаючі ролики; 8 – спрямовувальна втулка

До основних недоліків слід віднести порівняно невисоку продуктивність процесу, складність і високу вартість високочастотних лампових установок, які необхідно використовувати для живлення індуктора металізатора.

3.4. Детонаційне напилювання

При даному способі напилювання нагрів і транспортування частинок порошкоподібного матеріалу на поверхню деталі здійснюються в результаті енергії детонації газової суміші. Схема процесу представлена на рис. 3.7. В камеру цівки подається кисневогазова суміш.

Цівка одним кінцем направлена на оброблювану деталь. В іншому кінці цівки знаходиться порошок, що напилюється. Отримують велику кінетичну енергію і направляються до відкритого кінця цівки. Напроти нього поміщають деталь. Частинки порошку мають велику швидкість польоту, яка на відстані 75 мм від зрізу цівки сягає 800 м/с. При зіткненні з поверхнею деталі кінетична енергія частинок трансформується в теплову. При цьому температура в місці контакту може підвищуватися до 4000°C.

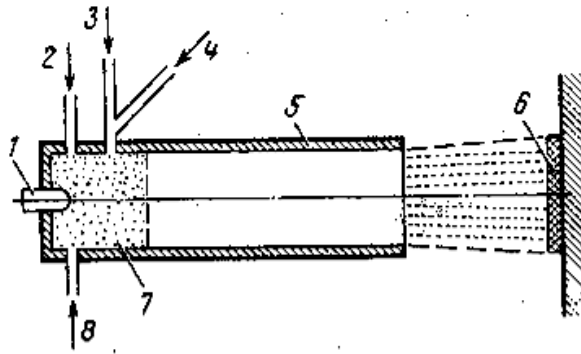


Рис. 3.7. Схема детонаційного напилювання: 1 – електрична свічка; 2 – подача кисню; 3 – продування азотом; 4 – подача порошку; 5 – цівка; 6 – напилений метал; 7 – камера вибуху; 8 – подача ацетилену

Після кожного пострілу цівку установки продувають азотом для видалення продуктів згоряння. Процес напилення повторюють з певною періодичністю. В залежності від типу установок швидкострільність (періодичність повторення циклу) може досягати 10 пострілів/с. За один цикл напилення можна нанести покриття товщиною 6 - 10 мкм. Отже, напилюючи шари один на одного, можна отримати покриття товщиною 1 - 2 мм. При діаметрі цівки 25 мм протягом 15 с. можливо отримати покриття на площі 5 см² товщиною 0,3 мм. Детонаційне напилення призначено в основному для отримання зносостійкого покриття, яке складається з карбідів і металічної зв'язки. Високі температури і тиск, контакт частинок порошку з активним газовим середовищем, деформація частинок при зіткненні з поверхнею деталі сприяють протіканню різних фізико-хімічних процесів в шарі, який напилений. Покриття, отримані детонаційними напиленням, мають високу щільність і міцність зчеплення з основним металом. В той же час, температура нагріву поверхні деталі не перевищує 200°C.

Устаткування для детонаційного напилювання являє собою складний технічний комплекс, який складається з детонаційної установки, звукоізоляційного боксу, газорозподільного щита і дистанційного пульта управління. Серійно випускають установки „Катунь” і „Дніпро-3” для детонаційного напилення. Установки призначені для нанесення покриттів з порошкових матеріалів на робочі поверхні деталей машин і апаратів для відновлення і підвищення їх зносо-, корозійно- і жаростійкості.

До істотних недоліків детонаційного напилювання слід віднести, в першу чергу, високий рівень шуму (до 100 дБ). Крім того, обладнання має відносно високу вартість і складне при експлуатації.

3.5. Електроіскрове легування під час зміцнювання й відновлювання техніки

Процес ЕІЛ починається зі зближення електрода-інструмента деталлю, і при відстані між ними, рівному чи менше пробивного, починається розвиток імпульсного розряду, що у більшості випадків продовжується і завершується при контакті електродів. Модель ЕІЛ представляється в такий спосіб (рис. 3.8). Напруженість електричного поля підвищується під час наближення електродів. На деякій відстані між електродами вона буде достатньою для виникнення електричного розряду. Завдяки розжаренню наскрізної провідності пучок електронів вдаряється об тверду металеву поверхню анода (рис. 3.8, а). В поверхневих шарах анода відбувається виділення енергії руху зупинених електронів.. Щільність струму значно перевищує критичні значення, що пов'язане зі стрибкоподібним звільненням системою накопиченої в цей момент енергії. Як наслідок крапля розплавленого металу відокремлюється від анода, випереджаючи його і починає рух у напрямку катода (рис. 3.8, б).

У процесі відділення від анода крапля, що летить, устигає нагріватися до високої температури, чи закипає „вибухає”. Ланцюг струму переривається, стискальні зусилля електромагнітного полючи зникають, і тому утворилися частки летять широким фронтом (рис. 3.8, в). Тому що перегріта крапля і частки знаходилися в зіткненні з газом (навколишнє середовище), те по складу і властивостям вони можуть відрізнятись від вихідного матеріалу анода. Розплавлені частки, зіткнувшись з поверхнею катода, зварюються з його матеріалом і занурюються у його поверхню (рис. 3.8, г). Слідом за частками рухається електрод, включений у систему, що встигла нагромадити енергію.

Через розпечені частки, що лежать на поверхні катода, відбувається наступний імпульс струму разом із механічним ударом електрода, що рухається, (анода). На наступному етапі при механічному контакті електродів відбувається прогрівання

тонкого шару поверхні катода і частки зварюються між собою. Водночас окрім дифузійного масоперенесення, спричиненого електричним струмом, в тілі катода відбуваються хімічні реакції між частками, що наносяться і матеріалом катода. Механічний удар електрода по розпеченій масі матеріалів забезпечує отримання одноріднішого і щільнішого покриття (рис. 3.8, д). Далі анод рухається нагору, а на поверхні катода залишається щільно з'єднаний з ним шар матеріалу анода (рис. 3.8 е).

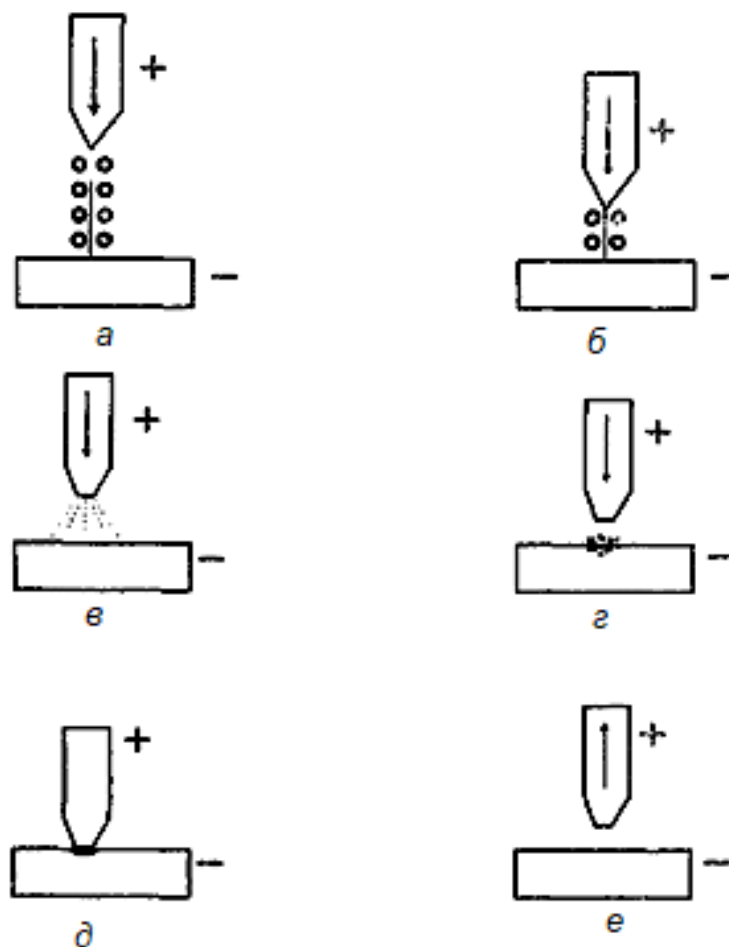


Рис. 3.8. Модель процесу ЕІЛ

Виходячи з представленої загальної схеми процесу, впливає, видимо, уточнити наступні положення. При ЕІЛ на металеві поверхні в газовому середовищі діють короткими електричними розрядами (до 1000 мкс) з частотою зазвичай не понад 1000 Гц.

При періодичному контакті електрода А (анода) – рис. 3.9, вібруючого в міжелектродному проміжку МЕП з частотою f_a , оброблюваного виробу (катодом) і його розриванні виникають електричні розряди, створені генератором імпульсів.

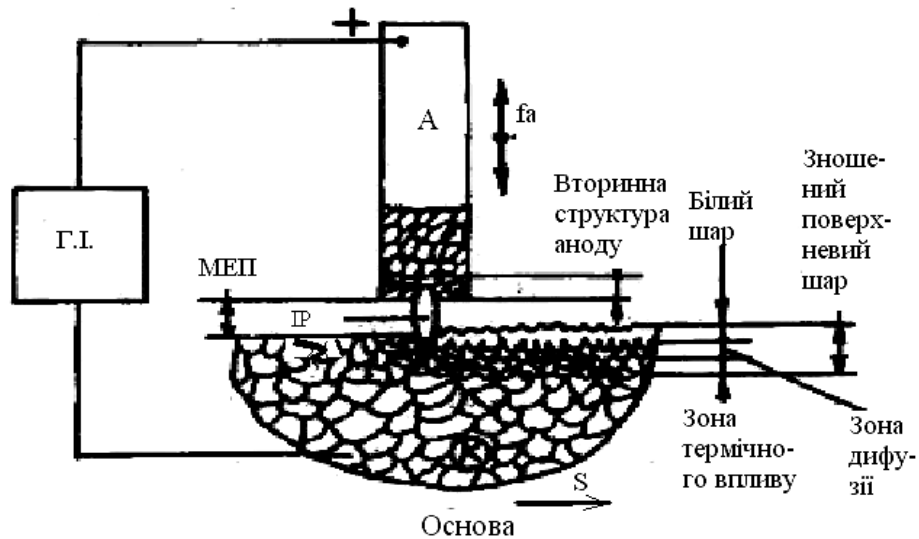


Рис. 3.9. Схема електроіскрового легування: *Г.І.* – генератор імпульсів; *МЕР* – міжелектродна відстань; *ІР* – іскровий розряд; *A* – компактний електрод (анод); *K* – деталь, інструмент (катод); f_a – частота вібрацій електроду; *S* – подача

При зближенні електродів між ними відбуваються електричний розряд, миттєвий розігрів міжелектродного простору, розвиток плазмової стадії розряду, при якій можливе існування речовини в іонізованому стані. Частки матеріалу, викинутого з анода, вдаряються з поверхнею катода і, прилипають до неї. Внаслідок дії електродинамічних сил, які з'являються у мікрощелеві, деформування розплавленого металу на поверхні катода утворюється лунка. Кількість перенесеного матеріалу й розмір цієї лунки залежать від енергії імпульсу та електроерозійної стійкості матеріалу електрода. Часточки анода і матеріал мікрощелеві утворюють шар покриття.

В результаті відбувається наступне: йдуть процеси переважного руйнування матеріалу електрода (анода) і утворення вторинних структур в робочій його частині; здійснюється перенесення продуктів ерозії електрода на деталь (катод); на поверхні оброблюваного виробу протікають мікрометалургійні процеси; елементи матеріалу електрода дифундують в поверхневий шар виробу; поверхні виробу набуває новий специфічний рельєф, на поверхні деталі формується змінений шар, що складається з білої, дифузійно зони і зони термічного впливу. Водночас відбувається змінювання властивостей поверхневого шару, якому тепер притаманний дрібнодисперсний склад, аж до нанорівня, а також змінюється розмір виробу.

Метод ЕІЛ є одним з найпростіших і доступних з технологічної точки зору. Серед його переваг є:

- формування мінімальної зони термічного впливу (0,2 - 0,8мм), що забезпечує стабільність властивостей основного металу деталі;
- можливість використання малотехнологічних, але ефективних за досягнутими властивостями, електродних матеріалів;
- можливість відновлення і зміцнення деталі з нетехнологічних матеріалів, наприклад чавунів, різних високовуглецевих і легованих сплавів;
- забезпечення мінімального об'єму механічної обробки і витрати електродного матеріалу.

Електроіскрове відновлення являє собою сукупність короточасних дугових розрядів, які одержують під час обертання електродів, що стискаються з наплавлюваною поверхнею деталі.

Суть методу полягає в тому, що краплі металу електрода (анода) відокремлюються і швидко кристалізуються, сплавляючись із поверхнею деталі (катодом). Метал, який відокремився від анода імпульсом електричного струму, легує поверхневий шар деталі з формуванням високотвердих включень (нітридів, карбонітридів, карбідів) і загартованих структур матриці.

У період електроіскрового розряду через електроди проходить потужний (до 105 - 106 А/мм²) імпульс струму. Температура у міжелектродному зазорі досягає 10000 - 15000°С. Присутність у зоні високих температур азоту повітря, а також різних легувальних елементів, які входять до складу електрода-анода, дозволяє не тільки нарощувати поверхню деталі, але і легувати її, поліпшуючи фізико-механічні та експлуатаційні властивості поверхні;

Для нарощування використовують різні робочі режими: чистові, середні, грубі. При використанні грубих режимів можна наростити до 0,5 - 0,7 мм металу, м'яких – до 0,2 мм.

Для більшості матеріалів максимальна швидкість перенесення металу становить 100 - 150 мкм/с.

Нарощування металу на зношену поверхню проводиться при частоті обертання електрода $5 - 10 \text{ с}^{-1}$, постійному струмі силою $150 - 200 \text{ А}$ і напругою $9 - 10 \text{ В}$.

Електродами може бути пучок зі $100 - 150$ дротиків діаметром $0,5 - 0,8 \text{ мм}$ чи диски з листового металу діаметром до 250 мм . Електроди у вигляді пучка дротиків частіше всього використовують для нарощування внутрішніх посадкових поверхонь базисних деталей – коробок передач, ведучих мостів, редукторів, а також штоків, золотників, різальних кромek деталей сільськогосподарських машин.

Електроди, виготовлені у вигляді диска, доцільно застосовувати для обробки тіл обертання або плоских поверхонь. Для електродів підходять будь-які струмопровідні матеріали. Залежно від умов експлуатації і вимог до деталей використовують електроди з конструкційних і легованих сталей, особливо із вмістом хрому, які забезпечують збільшення товщини нанесеного шару, підвищення його мікротвердості і стійкості проти зношування.

Для електроіскрового нарощування металу застосовують ручні і механізовані установки (ЕФІ-10, „Елітрон-52”, „Елітрон-344”).

Метод ЕІЛ універсальний, він використовується для збільшення твердості, корозійної стійкості, зносо- і жаростійкості, зниження здатності до схоплювання поверхонь при терті, відновленню розмірів інструмента, деталей машин і механізмів, проведення на оброблюваній поверхні мікрометалургійних процесів для утворення на ній необхідних хімічних сполук, створення на робочій поверхні перехідних шарів визначеної шорсткості, нанесення радіоактивних ізотопів, застосування в декоративному мистецтві тощо.

У процесі ЕІЛ на поверхні анода і катода утвориться шар зміненої структури, що при впливі па його хоронителів, використовуваних для виявлення мікроструктури матеріалів електродів, залишається „білим”, тобто структура його не виявляється. Подібні шари спостерігалися на поверхнях матеріалів, що піддавалися шліфуванню, точінню, фрезеруванню, електромеханічній обробці, обробці дробом, на поверхнях тертя після впливу висококонцентрованих потоків енергії. Загальним для всіх зазначених випадків є те, що утворення „білих” зон спричинене локальною дією високого тиску і температур. По інтенсивності впливу на поверхневий шар ЕІЛ

значно відрізняється від перерахованих вище процесів (тиск ударної хвилі 0,1 МПа, температура 40×10^3 °С).

Висока швидкість тепловідведення призводить до того, що на декількох міліметрах за товщиною шару температура швидко знижується, сягаючи температури відповідних фазових перетворень і температури плавлення. У зв'язку з цим кристалізація, фазові перетворення, дифузія і хімічна взаємодія, що супроводжують процес ЕІЛ, приводять до утворення вкрай нерівновагих структур з дуже дрібним зерном, високою гетерогенністю по складу, структурі і властивостям. Твердість такого шару, як правило, значно перевершує твердість матеріалів електродів. У ньому діють напруги, що перевершують внутрішні напруження в електродних матеріалах анода і катода.

Загальний шар ЕІЛ має дві зони: верхній білий шар і нижній перехідний шар з перемінною концентрацією дифузійного характеру. У більшості випадків дифузійний шар по глибині перевищує верхній білий, а глибина проникнення елементів анода в катод може складати від декількох до ста мікрометрів.

Комплексні структурні і фазові перетворення в поверхневому шарі стали при ЕІЛ відбуваються не тільки при використанні електродів складних з'єднань, але й однойменних з катодом матеріалів. Характеристики покриттів, нанесених ЕІЛ приведено в табл. 26.

Крім цього, спостерігають часто третю зону – зону термічного впливу (ЗТВ). Для загартованих деталей підшар може з'явитися зоною відпустки (зоною зниженої твердості). Глибина цієї зони залежить від енергії розряду.

У всіх випадках легування залізної підкладки перехідними металами відбувається істотна зміна структури підшару з її дробленням, що обумовлюється впливом нагрівання тонкого шару до температур алотропічного перетворення і переходу грубозернистої α -фази в дрібнозернисту γ -фазу.

Найбільше значення мікротвердості при ЕІЛ досягається електродами з високою твердістю через їхнє осадження на поверхні катода, причому формовані шари можуть мати мікротвердість вищу, ніж сам матеріал, що наноситься.

Таблиця 26. Характеристики покриттів, нанесених ЕІЛ

Характеристики покриттів	Значення показника
Товщина, мкм	
– нанесеного шару	5 - 1000
– білого шару	до 600
– перехідного шару	до 700
Мікротвердість, МПа	
– білого шару	6000 - 22000
– перехідного шару	300 - 8000
Параметри рельєфу поверхні	
– характер рельєфу поверхні	випукло-увігнутий
– висота мікронерівностей	Ra 1,6 - Rz 360
– відносна висота виступів h_b/r_b	0,06 - 0,19
– відносна віддаль між виступами S_m/H_{max}	5 - 9
Теплопровідність електродних матеріалів	10 - 400

Істотним варто вважати, що при ЕІЛ навіть м'якими матеріалами, наприклад, алюмінієм, удається значно підвищити мікротвердість оброблюваної деталі. Так, висока мікротвердість шару (12000 - 14000 МПа) при ЕІЛ титана алюмінієм і нікелем порозумівається утворенням інтерметалідів, нітридів, окисів.

ЕІЛ дає можливість змінювати фізико-хіміко-механічні властивості робочих поверхонь сполучених деталей, тобто підвищувати їхня зносостійкість, мікротвердість, жаростійкість, корозійну стійкість тощо.

Установлено, що при легуванні сталевих підкладок перехідними металами IV-VI і VII груп (Ti, Zr, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W, Fe, Ni) міцність легованого шару на зріз вище, якщо матеріали анода і катода утворять один з одним необмежені тверді розчини і якщо матеріал анода має низьку температуру переходу в тендітний стан.

Зміна складу і структури поверхні металу приводить до зміни його корозійних властивостей. Так, нанесення алюмінієвого покриття методом ЕІЛ істотно підвищує

корозійну стійкість нелегованої сталі у фосфорнокислих і водно - сольових середовищах в умовах ремонтної майстерні.

Досліджуючи вплив ЕІЛ на кавітаційну стійкість вуглецевих сталей з різним вмістом вуглецю з'ясовано, що при досліджених режимах опір зовнішнього ЕІЛ шару мікроударному навантаженню низький і кавітаційна стійкість сталей визначається в основному структурою і властивостями дифузійного підшару. У зв'язку з цим вибір режимів ЕІЛ обумовлений необхідністю забезпечення більшої товщини дифузійного підшару при мінімальній товщині зовнішнього шару покриття. ЕІЛ доцільно застосовувати тільки для підвищення кавітаційної стійкості маловуглецевих сталей (до 0,2 - 0,3% вуглецю).

Попри незаперечні переваги, метод ЕІЛ має і ряд недоліків (збільшення шорсткості, виникнення в поверхневому шарі залишкових напруг, що розтягують, зниження усталостної міцності, обмеження товщини формованого шару), що нерідко обмежують його застосування для більш широкого кола деталей машин.

ЕІЛ застосовується при зміцненні таких звидкозношуваних деталей, як вали, осі тощо, довговічність яких у більшій мері визначає термін служби машин. Дуже небезпечними для таких деталей є циклічні навантаження, що призводять до втомлюваних руйнувань.

Динаміка формування поверхневих шарів на катоді характеризується тим, що інтенсивність переносу матеріалу анода на катод, максимальна в перші моменти ведення процесу, при наступній обробці зменшується. У підсумку при визначених значеннях енергії розряду й умовах обробки перенос змінюється ерозією вже нанесеного шару і криві залежності приросту ваги катода від часу обробки мають максимум.

Важливою характеристикою якості поверхнього шару є її шорсткість. Одержувана поверхня являє собою масив лунок з виступаючими гребінцями в місцях їхнього сполучення, що перекривають одна одну. Шорсткість залежить від ерозійної стійкості легируемого і легувального матеріалів і від величини енергії імпульсів, що протікають. Ніж більш ерозионно стійки матеріали і чим менша енергія імпульсів, тим менша шорсткість.

Метод ЕІЛ характеризується, з одного боку, істотним зміцненням сформованого шару, що має високу щільність дислокацій, з іншого боку, появою в цьому шарі значних напруг, що розтягують, і порівняно великою шорсткістю обробленої поверхні.

ЕІЛ і відновлення термооброблених деталей машин, що піддаються в умовах експлуатації високим питомим навантаженням (деталі штампового інструмента, валки прокатних станів, штоки, тощо), не завжди приводять до бажаного результату. Причиною виходу з ладу деяких з них є те, що під шаром підвищеної твердості після ЕІЛ з'являється зона відпустки – зона зниженої твердості. Це приводить до продавливанню зміцненого шару і, як наслідок, до швидкого зношування деталей. ЕІЛ принесе шкода, особливо якщо припустимий знос легируемой поверхні перевищує товщину шаруючи підвищеної твердості.

Усунути вищезгадані недоліки ЕІЛ можна як технологічними прийомами (застосуванням багат шарових електроерозійних покриттів, оптимізацією режимів ЕІЛ, створенням нових електродних матеріалів тощо), так і сполученням ЕІЛ з іншими методами зміцнення, наприклад, ППД.

Удосконалюванню технології ЕІЛ приділяється велика увага як на Україні, так і в країнах ближнього і далекого зарубіжжя. Воно спрямовано в основному на підвищення якісних характеристик формованих шарів. Удосконалювання конструкції установок ЕІЛ, а також механізація й автоматизація цього процесу значно впливають на підвищення якості оброблюваної поверхні. Більшість авторських посвідчень і патентів, що належать до пристроїв для ЕІЛ, спрямовані на рішення цих питань.

Становлять інтерес технічні рішення, що належать до способів ЕІЛ. Пропонується спосіб ЕІЛ шляхом нанесення на поверхню основного і додаткового шарів електродом, що вібрує по нормалі до поверхні, яка відрізняється нанесенням додаткового шару задля підвищення якості нанесеного покриття. Оброблювану поверхню розташовують над електродом, причому обидва шари наносять за одного режиму.

Можливе нанесення покриттів обертовим електродом, здійснюване в умовах підведення до інструмента і деталі імпульсів електричного струму. Відмінність

способу полягає в тому, що з метою підвищення ефективності процесу і поліпшення якості покриття процес ведуть стрижневим електродом-інструментом діаметром 0,1 - 2,0 мм при напрузі ходу 15 - 600 В і тривалості імпульсів 1,0 - 10,0 мкс, величина міжелектродного зазору 3,0 - 50,0 мкм. Характерною рисою методу є те, що нанесення покриттів па поверхня оброблюваної деталі відбувається без зіткнення електрода з деталлю.

Одним із засобів поліпшення якості формованих покриттів є створення нових електродних матеріалів, що володіють високою міцністю, твердістю, зносостійкістю, високим коефіцієнтом переносу, а також має задовільну електропровідність, дрібнозернистість тощо. Матеріали, що відповідають усім цим вимогам, одержують спіканням порошкоподібної суміші, до складу якої входять, як правило, карбід вольфраму (основа), мідь, нікель, бор тощо у різних процентних співвідношеннях.

Покриття можуть також наноситися шлікерним методом. Недоліком таких покриттів є висока трудомісткість і вартість їхнього одержання. Для захисту від корозії поверхні пропонується спосіб ЕІЛ, здійснюваний в умовах розігріву поверхневого шару електродів, що відрізняється тим, що з метою підвищення якості і рівномірності покриття підігрівши здійснюють рідиною, що подають у міжелектродний простір у розпиленому стані при 200 - 300°C. З метою запобігання окислювання легованих поверхонь в рідину вводять інгібітор корозії, наприклад нітрит натрію, до 1% ЕІЛ.

3.6. Зміцнювання металу конденсацією з іонним бомбардуванням

В основі зміцнення поверхонь деталей конденсацією металу з іонним бомбардуванням лежить розпилення речовини за допомогою низьковольтної дуги постійного струму в вакуумі з контрольованим впуском легувальний газів. Для розпилення речовини виріб бомбардують швидкими частинками (зазвичай позитивними іонами газу – іонне розпилення), в результаті чого з поверхні виробу вибиваються атоми, які осідають на розташовані поблизу поверхні деталі.

У найпростішому випадку іонне розпилення здійснюють в тліючому розряді за допомогою подвійної схеми. У цій схемі виріб з розпилюваного металу – катода,

на який подається потенціал в декілька кіловольт, а тримач підкладки – заземлений анод. При наявності іонізуючого газу і при високій напрузі між електродами виникає автоелектронна емісія з катода, і в міжелектродному просторі запалюється самостійний розряд. У розглянутому випадку в процесі іонного розпилення катод виконує дві функції: є джерелом електронів, що підтримує процес існування тліючого розряду, і джерелом роспилюваного матеріалу, що наноситься на деталь.

Як катода можуть використовуватися будь-які електропровідні матеріали. Для отримання хімічних сполук (нітридів, карбідів) в камеру установки для нанесення покриттів подають легуювальний газ. В результаті високої температури з катодної плями вакуумної дуги ефективно випаровуються будь-які катодні матеріали (вольфрам, тантал, молібден, ніобій, графіт тощо). Введення в вакуумну камеру легуювального газу та іонізація його в розряді дозволяють створити плазмові пучки з регульованим вмістом різних компонентів.

Іонний стан речовини поблизу поверхні деталі активізує реакції взаємодії, що дозволяє отримувати покриття з високими фізико-механічними властивостями (надтверді, зносостійкі тощо). Регулюванням складу і енергії іонного пучка, який формується з плазмового струменя, можна цілеспрямовано змінювати фазовий склад, структуру і властивості покриттів. Прискорені іонні пучки великої щільності дають можливість здійснювати високоефективне початкове очищення поверхні деталі розпиленням, що забезпечує високу адгезію покриття.

Однією з найбільш важливих областей застосування покриттів, які отримують шляхом конденсації металу з іонним бомбардуванням, є створення зносостійких шарів. Нанесенням покриттів на основі нітридів титану і молібдену зміцнює інструменти з твердих сплавів, швидкорізальних та інструментальних сталей. При цьому значно підвищується їх стійкість, запобігає дифузійному зносу і збільшується стійкість до впливу кислот.

Установка для зміцнення поверхонь деталей конденсацією металу з іонним бомбардуванням (рис. 3.10) складається з камери 4, що являє собою циліндричний виріб. Вісь камери розташовується горизонтально. На петлях по обидва боки камери кріпляться кришки. Нижня частина камера оснащена чотирма кронштейнами. У

кронштейнах кріпляться встановлювальні гвинти, за допомогою яких камера встановлюється в необхідному положенні.

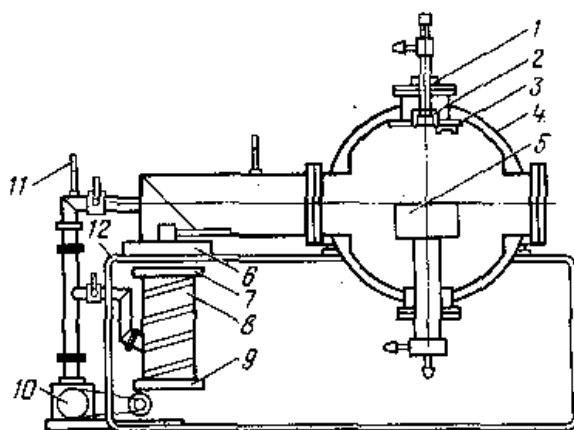


Рис. 3.10. Установка для напилювання поверхонь конденсацією матеріалу у вакуумі

У корпусі камери і кришки припаяні мідні трубки, з'єднані з системою водяного охолодження 12. У верхній частині камери розташований катодний вузол, що містить фокусувальну котушку 1, катод 2 і підпалює електрод 3. Катод являє собою монолітний циліндр, на випаровальному торці якого є буртик висотою 2 мм, який перешкоджає виходу катодної плями при горінні дуги на бічну поверхню циліндра. Вакуумне ущільнення катодного вузла здійснюється двома втулками, гумовим ущільнювачем і гайкою. Ущільнювач й втулки забезпечують електричне ізолювання катодного вузла і корпусу.

Усередині камери розташована підкладка 5, на яку встановлюють зміцнювану деталь. Необхідний тиск в камері на всіх режимах забезпечується вакуумною системою, що містить високовакуумний агрегат 8, азотну 6 і водяну 7 пастки, нагрівач 9, форвакуумний насос 10 і систему вимірювання вакууму 11 (або 12 вимірювання водяного охолодження).

3.7. Застосування полімерів під час відновлювання деталей

Види полімерних матеріалів і область їх застосування

При виробництві, технічному обслуговуванні і ремонті машин широко використовуються полімери, пластичні маси та інші штучні композиційні матеріали.

Полімери – це високомолекулярні органічні сполуки штучного або природного походження, які переважно мають аморфну структуру.

Пластмаси – композиційні матеріали, які виготовлені на основі полімерів, здатні за заданих тиску і температури приймати визначену форму і зберігати її під час експлуатації. Залежно від числа компонентів, пластмаси бувають однокомпонентні (прості) і багатокомпонентні (композиційні). Простими є, наприклад, поліетилен, полістирол, що складаються з синтетичної смоли. У композиційних пластмасах (фенопласти, амінопласти тощо) Смола є сполучною речовиною для інших компонентів. Ними є наповнювачі, пластифікатори, отверджувачі, прискорювачі (активатори), барвники, мастильні речовини та інші компоненти, які надають пластмасі необхідні властивості.

Частка додаткових компонентів може досягати до 70%. Це дозволяє створювати композиційні матеріали, що володіють, відповідно до потреб виробництва, сукупністю тих чи інших властивостей: достатньою міцністю, вібростійкою, задовільною хімічною стійкістю проти дії кислот, лугів та інших агресивних середовищ, високими фрикційними або антифрикційними, шумопоглинальними, діелектричними, теплоізоляційними тощо.

У ремонтному виробництві полімерні матеріали застосовують для усунення в деталях тріщин, пробоїн і раковин; склеювання; відновлення форми і розмірів зношених деталей; герметизації стиків; виготовлення деталей, які швидко зношуються або окремих їх частин.

У залежності від здатності повертатися під дією температури в початковий стан розрізняють терморективні і термопластичні полімерні матеріали.

Термопластичні матеріали або термопласти при підвищенні температури переходять у пластичний стан, а при охолодженні відновлюють свої властивості. Тому вони можуть багаторазово перероблятися. Застосовуючи різні термічні способи, термопласти наносять на поверхні деталей у вигляді покриттів різного призначення (антифрикційні, захисні, ізоляційні тощо). З деяких термопластів (поліамідів типу капролактаму, АК-7 тощо) виготовляють методом лиття під тиском втулки підшипників ковзання та інші деталі.

Важливою експлуатаційною властивістю термопластів є термостабільність - час, протягом якого термопласт може витримувати певну температуру, зберігаючи свої властивості. Основними технологічними властивостями пластмас є: текучість (здатність матеріалу заповнювати форму при певній температурі і тиску); усадження (зменшення розмірів готової деталі в порівнянні з відповідними розмірами пресформи); швидкість затвердіння, яка залежить від властивостей і співвідношення смоли і затверджувача, а також температури, при якій відбувається процес затвердіння. За ремонтування широко застосовуються поліетилен, полікапроамід, фторопласт та інші термопласти.

Поліетилен відрізняється хорошою пластичністю, яка зберігається навіть при низькій температурі, що дозволяє застосовувати його для виготовлення та відновлення гнучких виробів (труб) і захисних покриттів.

Полікапроамід, володіючи достатньою міцністю і стійкістю проти впливу лугів і різних паливно-мастильних матеріалів, застосовується як конструкційний матеріал для виготовлення шестерень і втулок, нанесення на деталі зносостійких покриттів.

Фторопласт, завдяки високій температурі плавлення (327°C), низькому коефіцієнту тертя, високій зносостійкості і практично при відсутності адгезії в контакті з металами, застосовується для виготовлення втулок підшипників ковзання, що працюють при температурі до 250°C . За хімічною стійкістю він перевершує всі полімерні матеріали, що обумовлює широку область його застосування в різних агресивних середовищах. Відсутність адгезійної взаємодії з металами ускладнює застосування фторопласта для нанесення на них захисних покриттів напиленням. Тому зазвичай застосовують механічне кріплення фторопластових накладок до відновлюваних виробів.

Терморективні матеріали або реактопласти (текстоліт, волокна, скловолокна, епоксидні композиції тощо) Відрізняються тим, що при нагріванні, в результаті хімічних реакцій, вони необоротно переходять в твердий, неплавкий і нерозчинний стан. При повторному нагріванні вони можуть руйнуватись. З терморективних пластмас за ремонтування широко застосовуються композиції, що

включають епоксидні (ЕД-16, ЕД-20), фенольно-формальдегідні та інші смоли, затверджувачі, пластифікатори та інші компоненти.

При змішуванні з затверджувачем (поліетиленполіамін, ароматичні аміни тощо) епоксидної смоли переходить в твердий і нерозчинний стан. Цей процес в залежності від затверджувача може відбуватися при різній температурі. Наприклад, при використанні як затверджувача фтористого бору затвердіння відбувається при мінусовій температурі. Із збільшенням частки затверджувача підвищується крихкість композиційного матеріалу, а при її зменшенні процес затвердіння подовжується, тому для отримання якісного полімерного матеріалу необхідно дотримуватися встановлених інструкціями рекомендації із співвідношення смоли і затверджувача. Це стосується й інших компонентів полімерного складу.

Пластифікатори (дибутилфталат, триетиленгліколь, тіокол тощо) служать для підвищення ударної в'язкості і міцності композиційного матеріалу, зниження його чутливості до термоциклічних напружень, надання еластичності та інших необхідних властивостей.

Наповнювачі неорганічні (металевий порошок, графіт, кварцеве і слюдяне борошно, тальк, азбест, волокна вуглецю, скловолокно, склотканина тощо) і *органічні* (папір, целюлоза, деревне борошно, бавовняна тканина тощо) Дозволяють управляти фізико-механічними властивостями композиційного матеріалу для підвищення міцності, зносостійкості, теплостійкості тощо. Наприклад, змінюючи співвідношення між вмістом металевих і неметалевих порошоків, можна зменшити усадку нанесеного полімерного покриття і зменшити відмінність в значеннях коефіцієнтів лінійного розширення деталі і покриття, а завдяки введенню графіту підвищити його зносостійкість. Застосування волокнистих наповнювачів дозволяє отримувати на основі фенольно-формальдегідних смол, які широко застосовуються для виготовлення деталей машин (волокна, скловолокна та інші матеріали підвищеної міцності).

Термореактивні пластмаси застосовують для усунення вм'ятин, тріщин, пор і раковин в деталях з металевих і неметалевих матеріалів, для відновлення в корпусних деталях посадкових поверхонь під підшипники, а також виготовлення нових деталей.

У залежності від властивостей, пластмаси можуть перероблятися в деталі у в'язкотекучому стані (лиття під тиском, видавлювання, пресування), в високоеластичному стані (штамбування, пневмо- і вакуум формування); в твердому стані (обробка, різання, склеювання, зварювання тощо) та іншими методами.

Застосування полімерних матеріалів за ремонтування машин в порівнянні з іншими способами відновлення дозволяє на 20 - 30% знизити трудомісткість і на 15 - 20% собівартість ремонту, а також виключити складні технологічні процеси, характерні при нанесенні металевих матеріалів та їх обробки. Істотно (на 40 - 50%) зменшується витрата конструкційних матеріалів (найчастіше дефіцитних і дорогих - кольорових металів і нержавіючих сталей) і відповідно – зменшується маса деталей. При цьому полімерні матеріали не знижують міцність від втоми відновлених ними деталей, що переважно дозволяє не тільки відмовитись від наплавлювання або зварювання, але й відновлювати деталі, які іншими технологічними способами відновити або неможливо, або невигідно, або це пов'язано з важкими умовами праці.

Для практичного застосування полімерних матеріалів зазвичай не потрібне складне технологічне обладнання, що важливо в умовах ремонтного виробництва.

Недоліками полімерних матеріалів в порівнянні з металами є менша міцність, інтенсивне старіння, низька теплопровідність і теплова стійкість окремих матеріалів.

Еластомери і герметики. Для герметизації і відновлення посадок нерухомих з'єднань застосовуються еластомери і герметики, в тому числі анаеробні. Ефективним герметизувальним матеріалом є герметики на основі полімерів і олігомерів. Застосовуються герметики термопластичні і термореактивні, які висихають і не висихають, полімеризуються, вулканізуються, а також нетвердіючі.

Найбільш зрозуміле пояснення слову „еластоміри” дає тлумачний словник: це полімери, яким за звичайних температур притаманні високоеластичні властивості, тобто, здатність до величезних зворотних деформацій розтягування. Типові еластоміри – каучук і гума. Ті ж еластоміри, про які ми говоримо, є двокомпонентними («база» – «затверджувач») рідкими матеріалами і тиксотропними пастоподібними матеріалами на основі гуми хімічного затвердіння з каучуковими і волоконними наповнювачами. Завдяки своїй будові, еластомери дуже

швидко повертаються в початковий стан – тобто, володіють великою еластичністю. Саме тому еластomersи широко використовуються, коли потрібне відновлення устаткування: обгумування, виготовлення (відливання) нестандартних форм ущільнень і прокладок, відновлення гумових валів і ланок, гумованих поверхонь циліндрів насосів і роторів.

Еластomersи належать до матеріалів багатоцільового призначення. Крім вже вказаних функцій: відновлення і ремонтування устаткування, обгумування тощо, полімери даної групи також можуть використовуватися як захисне покриття. Вони стійкі і до високих температур, і до хімічної дії: хімічна стійкість є однією з головних характеристик еластомерів. Еластомери випускаються у вигляді листів товщиною 2 - 5 мм, з яких на основі ацетону готують робочий розчин. Для цього необхідну кількість еластомеру поділяють на дрібні шматочки, які заливають у скляну місткість розрахунковим відповідно до інструкції кількістю ацетону і витримують в ньому до розчинення. Отриманий розчин необхідно зберігати в щільно закритих ємностях. Зручні готові до застосування еластомери на основі гуми холодного хімічного затвердіння, які представляють собою двокомпонентні матеріали, що поставляються в рідкому або пасти. Їх застосовують для відновлення гумових покриттів деталей, шлангів, ізоляції, а також для відливання нестандартних форм манжет, ущільнень і прокладок.

Крім цього, еластomersи прості в застосуванні – головне, правильно підготувати поверхню, на яку він наноситиметься. Рідкі еластomersи наносяться щіткою, пастоподібні – шпателем, причому, наносяться тільки на ретельно очищену і знежирену поверхню, на якій не повинно бути ніяких домішок. Після нанесення еластомери висихають приблизно за 20 хв.

Анаеробні клеї – це однокомпонентні матеріали, які твердіють в умовах відсутності контактування з киснем за кімнатної температури. Рідкий компонент залишається неактивним до тих пір, доки він не позбавлений контакту з атмосферним киснем. Щойно клей ізолюють від доступу атмосферного кисню. Наприклад, у процесі з'єднання деталей відбувається швидке затвердіння, особливо під час одночасного контактування з металом. Це явище пояснюється припиненням надходження атмосферного кисню та формуванням вільних радикалів, спричинених

дією іонів металу (Fe, Cu). Саме вільні радикали є причиною початку процесу полімеризації.

При постійній дії кисню клей залишається в рідкому стані. При попаданні клеїв в зазор припиняється надходження кисню, відбувається перетворення пероксидів у вільні радикали, які вступають в реакцію з іонами металу. Стимулювання формування полімерних ланцюгів спричинене саме вільними радикали. Затверділий стан є твердою структурою із зшитими полімерними ланцюгами.

Завдяки капілярному ефекту анаеробні клеї проникати навіть в дуже маленькі зазори. Затверділа склеювальна речовина „уклинюється” в шорсткі поверхні деталей. Процес полімеризації також стимулюється контактом клеїв з металевими поверхнями, що виступають як каталізатор. Для прискорення і досягнення остаточної полімеризації потрібні активатори, що пояснюється мінімальним або нульовим каталітичним ефектом пасивних матеріалів. У таких випадках на одну або обидві склеювані поверхні заздалегідь наноситься рідкий активатор, а потім – склеювальна речовина. Наперед змішувати компоненти неактивного клею і активатора не можна.

Анаеробні герметики являють собою однокомпонентні матеріали, які містять акрилові і складні метакрилові ефіри і перекис водню. Вони ефективні для герметизації різьбових та фланцевих з'єднань пневматичних і гідравлічних систем з використанням різних матеріалів в спряжених поверхнях. При цьому крім герметизації збільшуються міцність і твердість з'єднань, усуваються зазори (0,2 - 0,7 мм) і забезпечується захист поверхонь від корозії. Час повної полімеризації для різних герметиків складає від 24 до 72 годин. Початок експлуатації можливо проводити відразу після затвердіння. При виборі марки герметика враховується зазор між деталями і температура навколишнього середовища, яка впливає на в'язкість складу.

Анаеробні герметики ефективні також при просочуванні (усуненні) дрібних тріщин і пор в заготовинах, отриманих методами лиття та тиску, і в зварних швах. В цьому випадку герметик наноситься без застосування активатора на очищену і знежирену поверхню з дефектами 2 - 3 рази через 15 - 20 хв. Для прискорення

затвердіння герметика виріб витримують при температурі 60 - 90°C протягом 0,5 - 2 год.

У ремонтному виробництві широко застосовуються анаеробні герметики типів ДН, Анатерм, унігерми тощо. Вони являють собою композиції, які можуть тривалий час перебувати в текучому стані і твердіти при відсутності контакту з киснем повітря. Час затвердіння залежить від температури навколишнього середовища, а максимальна міцність затверділого матеріалу досягається через 24 год.

Ці склади мають високу проникну здатність і тому здатні заповнювати мікронерівності і мікротріщини в деталях, зазори в сполученнях між ними, рівні 0,05 - 0,2 мм. При полімеризації вони переходять в твердий стійкий стан з утворенням міцного з'єднання, стійкого до зміни температури в діапазоні – 60 - +150°C і агресивного впливу навколишнього середовища. Це дозволяє просочувати і закладати пори в литих і пресованих заготовинах, надійно фіксувати взаємне положення деталей в різних з'єднаннях (гладких плоских і циліндричних, різьбових, профільних тощо). При цьому сполучаються деталі можуть бути виготовлені з різних матеріалів в будь-яких поєднаннях.

Вельми ефективним є застосування анаеробних матеріалів при складанні нерухомих з'єднань. Наприклад, при встановленні підшипників із застосуванням анаеробного матеріалу не тільки усуваються корозійні й інші руйнування посадкових поверхонь, але також забезпечується беззазорове сполучення з ними кілець підшипників. Після зняття підшипника, встановленого таким чином, посадкова поверхня зберігається чистою, і при подальшому ремонтуванні потрібно лише повторно нанести герметик без її обробки.

Анаеробні матеріали не взаємодіють з водою, розчинниками, мастильними матеріалами і забезпечують надійний антикорозійний захист ущільнених деталей. Це дозволяє значно підвищити надійність конструкцій. Важливо і те, що більшість з цих матеріалів є екологічно безпечними.

Перед нанесенням анаеробного герметика деталь повинна бути ретельно очищена від забруднень відповідними методами (механічним, хімічним і ін.) І знежирена.

Анаеробні клеї володіють наступними властивостями: дуже висока міцність, хороша термостійкість (від -50°C до $+200^{\circ}\text{C}$), допустима шорсткість поверхні – 8-40 мкм, швидке затвердіння, легкість нанесення автоматичним дозатором, оскільки вони однокомпонентні, не потрібне фінішне оброблення частин; одночасно здатність до герметизації і висока хімічність, хороша вібростійкість, хороша стійкість до динамічних навантажень.

Посадка з натягом при з'єднанні деталей вимагає дорогої механічної обробки з жорсткими допусками, важкого пресового устаткування. При складанні виникають напруження, деформація валів, втулок і підвищується відсоток браку. Використання анаеробних герметиків дозволяє перейти на посадку із зазором, відмовитися від накатки валів при одночасному збільшенні межі міцності на зріз.

Застосування анаеробних клеїв-герметиків для герметизації фланцевих з'єднань і трубної різі. Звичайні засоби ущільнення (механічні, пристосування з металу, гуми тощо), як правило, виготовляються із дефіцитних матеріалів, вимагають великих витрат праці і засобів. Вони часто виявляються технічно непридатними: руйнуються під дією вібрації і навантажень, розчиняються в агресивних рідинах, забруднюють робоче середовище тощо. Анаеробні клеї-герметики в чистому (матеріалом ущільнювача є тільки анаеробний герметик) або комбінованому (при нанесенні складу на прокладку) вигляді забезпечують ущільнення, що витримує тиск газів до 40, рідин до 60 МПа та вібрацію.

Акрилові клеї. Клеї призначені для склеювання і герметизації плоских і гладких циліндричних з'єднань. Акрилові клеї відрізняються великою швидкістю затвердіння і високою міцністю при відриві. Застосовуються для склеювання різних матеріалів: металу, скла, багатошарового скла, кераміки, пластмаси.

Клеї – в'язкі однорідні рідини, здатні тривалий час залишатися в початковому стані, а в присутності кисню повітря швидко твердіють у вузькому зазорі між склеюваними поверхнями з утворенням міцного клейового з'єднання.

Їх властивість просочуються в малі зазори використовують для ліквідації течі в зварних швах, литві, прокаті, металокераміці. Анаеробні герметики застосовуються для усунення мікродфектів (пор, тріщин) в місцях зварювання деталей, виготовлених з прокату, литва або пресуванням. Для цієї мети

використовуються низьков'язкі герметики. За наявності дефектів більш як 0,07 мм можливе комбіноване просочування. Тоді вироби, заздалегідь просочені низьков'язким герметиком, ущільнюються додатково герметиком з в'язкістю до 200 МПа твердіє при 95 - 120 °С.

Клейові матеріали. Клейові матеріали часто є розчинами різних синтетичних смол в органічних розчинниках. Їх випускають у вигляді змішуються перед використанням компонентів, а також у вигляді плівки, порошку, гранул. У ремонтному виробництві частіше застосовуються епоксидні клейові матеріали, що обумовлене їх високою адгезією і нейтральністю щодо склеюваних матеріалів, малою усадкою, стійкістю до корозійних та інших впливів. Армування скловолокном розширює сферу застосування цих клейових матеріалів і дозволяє усувати великі за розмірами пробоїни і тріщини в деталях, що працюють при температурі -70 - +120 ° С. Недоліком епоксидних клейових композицій є токсичність компонентів.

Широко застосовуються також клеї акрилові (типів АН, КВ), ціанакриловий (типів ТК, КМ, МІГ) і силіконові, які дозволяють міцно з'єднувати між собою деталі з різних матеріалів, ущільнювати зазори і тріщини, знижувати вібрацію і шум, виготовляти ущільнення і прокладки будь форми. Особливістю ціанакриловий клеїв є швидке затвердіння (для більшості їх марок час схоплювання становить 1 хв). Робоча температура клейових з'єднань може змінюватися від -50 до +250 ° С.

Застосування клейових композицій дозволяє склеювати деталі, усувати тріщини довжиною до 150 мм, пробоїни площею до 2,5 см², відколи, корозійно-ерозійні тощо. Руйнування, а також створювати зносостійкі графітові і інші покриття.

У порівнянні зі зварюванням можна з'єднувати деталі з різнорідних матеріалів при відсутності внутрішніх напружень і викривлення із застосуванням простішого технологічного обладнання, при меншій трудомісткості і вартості ремонтування.

Металополімери представляють двокомпонентні композиційні матеріали, які на 70 - 80% складаються з дрібнодисперсних металевих порошоків (нікель, хром, цинк) і спеціальних олігомерів (полімерів з низькою молекулярною масою), що утворюють при затвердінні полімерні покриття підвищеної міцності через

використання поверхневої енергії матеріалів. Металополімери відрізняються високою адгезією до різних металевих і неметалевих матеріалів, включаючи пластмаси, за винятком фторопласта і поліетилену, що дозволяє проводити ними високоякісне холодне молекулярне зварювання, що відноситься до прогресивних високотехнологічних способів відновлення деталей машин. Воно виконується за допомогою композиційних металополімерних матеріалів, які можуть піддаватися обробці різанням.

Крім того, ці матеріали надійно захищають деталі машин від корозії і ерозії в агресивних середовищах з підвищеною вологістю і випаровуваністю. Їх робоча температура використання знаходиться в діапазоні $-60 - +180$ °С при максимальній термостійкості до $200 - 220$ °С. Межа міцності сучасних металополімерів становить (МПа): при стисненні 120 - 145, при згинанні 90 - 110, на зрізі 15 - 25. Важливими перевагами металополімерних матеріалів є відсутність зміни об'єму при полімеризації, їх еластичність, що виключає негативний вплив у відмінності в коефіцієнтах лінійного розширення матеріалів деталі і покриття.

Завдяки цим властивостям металополімер дозволяють створювати методом холодного зварювання високоміцні з'єднання різних матеріалів, відновлювати розміри, форму і цілісність деталей, наносити на їх робочі поверхні зносостійкі покриття з ефектом самомащення, вирішувати інші завдання ремонту.

Металополімери застосовуються для усунення аварійних теч в трубопроводах і місткостях, відновлення посадкових місць під підшипники кочення на валу і в корпусі, різбових з'єднань і „розбитих” шпонкових пазів, усунення дефектів чавунного і сталевих литва (раковини, тріщини), ремонтування корпусних деталей (пробоїни, відколи тощо), а також для захисту деталей машин від корозії, абразивного зносу, ерозії тощо.

Застосування полімерних матеріалів в ремонтній практиці

Дефекти корпусних деталей у вигляді тріщин і пробоїн в менш відповідальних місцях можуть бути також усунені шляхом використання епоксидних складів. У корпусних чавунних деталях з (тріщинами завдовжки до 20 мм визначають межі тріщини і електричним або пневматичним дрилем просвердлюють на кінцях тріщин отвору діаметром 2,5 - 3,0 мм Потім знімають фаску (під кутом 60 - 70 уздовж усієї

довжини тріщини і зачищають краї фаски. Глибину фаски приймають залежно від товщини стінки деталі. При товщині стінки 1,5 - 0,5 мм глибина фаски повинна відповідати 1 мм, при товщині стінки більш як 5 мм – 2 - 3 мм Далі зачищають поверхню деталі до металічного блиску на відстані 40 - 50 мм по обидві сторони тріщини і обдувають стислим повітрям. Зачищені поверхні габаритних деталей двічі знежирюють технічним ацетоном (ГОСТ 2768-69) просушують на повітрі 8 - 10 хв. На знежирені поверхні попадання олії, води, бруд не допускається. Епоксидний склад готують за рецептом (у масових частинах): епоксидна смола ЕД - 16- 100, дибутилфталат ДБФ - 15, залізний порошок ПЖ-100 - 160, поліетиленполіамін ПЕПА - 11.

Для приготування епоксидного складу епоксидну смолу разом з тарою нагрівають до температури 60 - 70°C, зважують необхідну кількість смоли, додають розрахункову кількість дибутилфталата і перемішують шпателем двокомпонентну суміш 5 - 6 хв. Потім додають необхідну кількість залізного порошку, перемішують трикомпонентну суміш 8 - 10 хв. і охолоджують на повітрі до температури 35 - 40°C. В трикомпонентну суміш додають розрахункову кількість затверджувача і перемішують епоксидний склад впродовж 5 хв. Приготований таким чином епоксидний склад має бути використаний впродовж 20 - 25 хв.

Після підготовки деталі приготований епоксидний склад наносять на поверхню тріщини і на зачищену ділянку навколо неї, ущільнюючи шпателем склад в тріщині (рис. 3.11).

Деталі великих габаритів перед нанесенням епоксидного складу на зачищену поверхню підігрівають в електropечі опору або лампою інфрачервоного випромінювання до температури 60 - 80 °С. Твердіння епоксидного складу відбувається при температурі, °С, 40, 60, 80, 100, 120. Тривалість витримки, год. 48 - 64. Після затвердіння патьоки і напливи зачищають. Покриття має бути рівномірним, без тріщин, пір і відшарування складу від поверхні.

За наявності в чавунних корпусних деталях тріщин завдовжки 20 - 150 мм підготовку поверхні деталі, т. е. визначення межі тріщини, зняття фаски уздовж тріщини, зачистку поверхні деталі, знежирення очищених поверхонь, а також приготування епоксидного складу роблять, аналогічно підготовці деталі з тріщиною

завдовжки до 20 мм, Крім того, для усунення тріщини виготовляють дві накладки із склотканини або технічної тканини, перша з яких має бути більше довжини тріщини на 40 - 50 мм, друга – на 60 - 80 мм. Потім наносять тонкий шар епоксидного складу на поверхню тріщини і на зачищену ділянку деталі. При цьому шпателем ущільнюють склад в тріщині. Після цього накладкою із склотканини перекривають тріщину на 20 - 25 мм з двох сторін і наочують роликом. Накладка заздалегідь має бути знежирена кип'ятінням у воді впродовж 2 - 3 годин і висушена. На цю першу накладку наносять тонкий шар епоксидного складу і накладають другу так, щоб вона перекривала першу на 10 - 15 мм з двох сторін, які наочують роликом. На другу накладку наносять тонкий шар епоксидного складу. Склад повинен рівномірно покривати накладку і зачищену поверхню. Після цього відбувається затвердіння складу по одному з режимів, приведених раніше, після чого зачищають патьоки і напливи складу і перевіряють якість закладення тріщини.

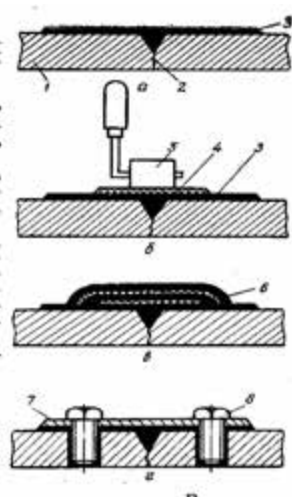


Рис. 3.11. Усунення тріщин епоксидним складом: *а)* епоксидним складом без накладок; *б)* з підсилювальною накладкою; *в)* з підсилювальними накладками; *г)* клеємеханічне з'єднання із підсилювальною сталлюю накладкою: 1- деталь; 2 – тріщина; 3 – епоксидний склад; 4 – накладки; 5 – валик; 6 – подвійний шар; 7 – сталюна пластина; 8 – болти

При довжині тріщин понад 150 мм на чавунних корпусних деталях замість накладок із склотканини застосовують металеву Накладку, виготовлену по контуру тріщини з листової сталі завтовшки 1,0 - 1,5 мм. Накладка повинна перекривати тріщину з двох сторін на 40 - 50 мм Тонкий шар епоксидного складу наносять на

зачищені поверхні деталі і накладки, яку необхідно накласти так, щоб отвори деталі й накладки співпадали. Через ці отвори деталь скріплюють з накладкою болтами, які перед загортанням покривають тонким шаром епоксидного складу. Підготовку поверхні деталі, приготування епоксидного складу і його затвердіння роблять аналогічно розглянутим раніше випадкам.

За наявності в чавунній корпусній деталі пробоїн з листової сталі виготовляють накладку завтовшки 1,0 - 1,5 мм по контуру пробоїни з перекриттям її на 40 - 50 мм. На зачищені поверхні деталі і накладки наносять тонкий шар епоксидного складу. Накладку розташовують так, щоб отвори деталі і накладки співпадали, і закріплюють болтами.

При усуненні тріщин в корпусних алюмінієвих деталях застосовують наступний епоксидний склад(у вагових частинах) : епоксидна смола ЕД- 16-100, дибутилфталат ДБФ-1-15, алюмінієва пудра АІ 19-25, поліетиленполіамін ПЕПА 11.

Усі інші операції по закладенню тріщин в алюмінієвих корпусних деталях роблять аналогічно чавунним корпусним деталям. За ремонтування тріщин і пробоїн з метою надання зварному шву міцності, жорсткості і герметичності застосовують комбінований клеєзварний спосіб. Для цього виконують наступні операції: підготовку тріщин і пробоїн, зварювання місця дефекту, зачистку зварного шва і навколошовній поверхні до металічного блиску, знежирення поверхні ацетоном, нанесення епоксидного складу і затвердіння. Оптимальний клейовий склад застосовується наступний(у масових частинах): епоксидна смола ЕД- 16-100; дибутилфталат ДБФ-1 - 15; залізний порошок ПЖ-100 - 120; поліетиленполіамін ПЕПА - 12.

Затвердіння складу відбувається спочатку при температурі 20 за 12 ч, а потім при 180°С за 1 год. У клеєзварних з'єднаннях силову основу складає зварний шов, розвантажений значною мірою клейовим складом. Перерозподіл напруги зменшує їх концентрацію біля кордонів зварного шва, що приводить збільшенню міцності з'єднання, особливо при циклічних навантаженнях. Клейовий склад служить захистом металу від корозії.

Одним із таких раціональних способів застосування в ремонтному виробництві полягає в поєднанні нанесення на зношені поверхні деталей

металополімерних покриттів із їх термофіксацією в магнітному полі. Технологія полягає в наступному: зношену поверхню деталі 1 розточують на глибину 3-4 мм на діаметрі та знежирюють її. На неспрацьованій поверхні базують і фіксують пристосування, на робочу поверхню калібрувальної вставки 5 наносять роздільну речовину – антиадгезив (дисульфід молібдена). Пристосування виготовляють разом із соленоїдом 6 для створення магнітного поля і нагрівальним елементом 7. Для ущільнення робочого об'єму використовують кільце 8. При чому, робочу поверхню оправки виготовляють відповідно до номінального розміру відновлюваної поверхні із пуском на усадку металополімера. Шорсткість поверхні повинна складати $R_a 1,6$. Схему відновлення посадкового отвору нанесенням металополімерів приведено на рис. 3.12.

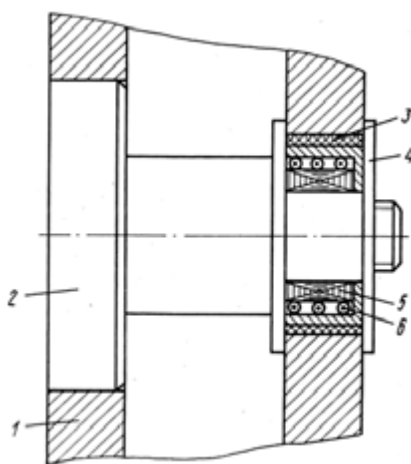


Рис. 3.12. Схема відновлення посадкового отвору нанесенням металополімеру

Через спеціальний отвір 7 в ущільнювальному кільці вводять компаунд в робочу зону до появи надлишків його через контрольний отвір 8. Залишки полімеру прибирають, а отвори закривають. Нагрівають покриття з нагрівальним елементом 6 до температури $60 \pm 2^{\circ}\text{C}$ протягом 7-11 хвилин і вмикають соленоїд 5. Потім підвищують температуру покриття до $120 \pm 2^{\circ}\text{C}$ і затверджують його впродовж однієї години. По завершенні процесу видаляють калібрувальну оправку. Механічна обробка отвору не потрібна.

Покриття нагрівають до $60 \pm 2^{\circ}\text{C}$ для зниження в'язкості на 25 - 30%, що дає можливість вільної орієнтації частинок наповнювача в масі полімеру рівномірного його розподілу при увімкненому соленоїді. Подальша теплова обробка із сумісною

дією магнітного поля збільшує міцність покриття в 1,5 - 1,7 раза прискорює процес полімеризації із 6 годин до 1,1 год. Рівномірний розподіл, орієнтованих по силовим лініям магнітного поля феромагнітних частинок збільшує когезійну міцність покриття і покращує умови тепловідводу в процесі експлуатації.

Для реалізації способу застосовують металополімер такого складу (масових частин): епоксидна смола ЭД16-100; диетилентриамін ДЭТА (затверджувач) – 10; тіокол НВБ-2 (пластифікатор) – 20; чавунний порошок (наповнювач) – 70 із добавками дрібнодисперсної міді – 20. Час повної полімеризації при 20⁰С – 24 год, при 120⁰С – 1,1 год.

Відновлення проводили за допомогою калібрувальної оправки, робоча поверхня була виготовлена під діаметр 131,75±0,1 мм і мала шорсткість R_a 1,6 . Базування пристосування здійснювали по отвору під стакан підшипника, розміщеному на протилежні стінці корпусу.

Використання такого способу відновлення корпусних деталей забезпечує надійну експлуатацію машин. Його реалізація дозволяє знизити матеріаломісткість ремонтування 40%, а витрати праці – на 20-30% і підвищити якість відновлення.

Нанесення покриття в псевдозрідженому шарі порошку. У ванні 2 знаходиться полімер у вигляді порошкової суміші, якій завдано зворотно-поступального руху.

Полімерне покриття на деталях створюється через розплавлення порошку з розміром частинок 01 - 015 мм, що знаходиться в псевдозрідженому стані, під дією тепла попередньо нагрітій деталі. Різновиди цього методу розрізняються способом переведення наплавлювального порошку в псевдозріджений стан. З них отримали застосування вихоровий, вібраційний і комбінований способи.

При вихровому методі псевдозріджений стан порошку створюється потоком повітря або інертного газу. Устаткування являє собою камеру (рис. 3.13), яка розділена на дві частини пористою перегородкою і фільтром, що забезпечують надходження повітря з нижньої частини камери в верхню. У верхній частині камери на фільтр насипають шар наплавляється порошком, товщина якого повинна бути не менш як 100 мм.

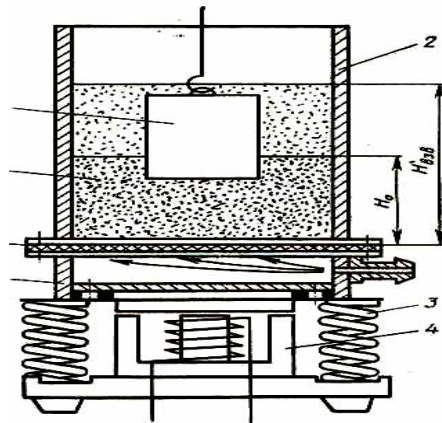


Рис. 3.13. Схема вібровихрового відновлення деталей полімерними матеріалами: 1 – деталь; 2 – ванна; 3 – пружина; 4 – вібратор; 5 – пневматична камера; 6 – пориста перегородка; 7 – полімерний порошок

Фільтр перешкоджає засміченню порошком отворів в перегородці і пересипання його з верхньої частини камери в нижню. З балона в нижню частину камери подають під тиском 0,1 - 0,2 МПа інертний газ, який, пройшовши через перегородку і фільтр, призводить порошок у зважений (псевдозріджений) стан.

Відновлювану деталь, яка нагріта до температури вище температури плавлення даного полімеру, поміщають в псевдозріджений шар полімерного порошку, який, маючи контакт із нагрітою деталлю, розплавляється, утворюючи на ній тонкошарове покриття. Місця, які не підлягають покриттю, необхідно ізолювати фольгою, рідким склом або іншим легко видаляється матеріалом.

У залежності від температури нагрівання деталі, часу знаходження її в порошку, теплопровідності і температури його плавлення товщина покриття може становити 0,08 - 1,0 мм. Якісне покриття формується незалежно від складності форми деталі, що є суттєвою перевагою даного способу. Він знаходить застосування для створення антифрикційних і захисних покриттів.

Для зняття внутрішніх напружень деталей після нанесення покриття нагрівають і витримують в оліві при температурі 150 - 160°C упродовж 15 - 60 хв.

Вібраційним способом псевдозріджений стан наплавного порошку створюється через передавання камері спеціальним вібратором коливань з частотою 50 - 100 Гц. Це забезпечує більш рівномірне і якісне покриття товщиною до 1,5 мм. У порівнянні з вихоровим вібраційний спосіб є більш економічним, оскільки не потрібно стиснене повітря, а завдяки тому, що деталь не охолоджується потоком

газу, виключені пов'язані з цим втрати тепла, накопиченого нею при нагріванні перед нанесенням покриття. Внаслідок цього, за інших рівних умов, забезпечується більша товщина формованого покриття. Після нанесення покриття деталь поміщають в камеру для оплавлення.

Комбінований (вібровіхровий) спосіб являє собою поєднання розглянутих вище. При цьому способі камері з псевдозрідженим газом порошком наводять за допомогою спеціального пристрою коливання з частотою 50 - 100 Гц і амплітудою до 10 мм. Завдяки цьому підвищується якість покриття і забезпечується можливість наносити покриття більшої товщини, ніж при вихровому або вібраційному способі.

Переваги вібровіхрового методу в порівнянні з вихровим і вібраційних наступні:

- надійне і рівномірніше псевдозрідження порошку по всьому об'єму, включаючи порошки, схильні до злипання й комкування;
- збільшення до 2 разів відносини обсягу порошку в псевдозрідженому стані до обсягу насипного порошку;
- гарне псевдозрідження суміші порошків полімерів і наповнювачів і відсутність їх розшарування під час формування покриття;
- рівномірна по висоті деталі і збільшена при тих же умовах товщина покриття.

Не менш відомим є спосіб відливання або нанесення розігрітого розплаву полімерного компаунду на поверхню деталі або в матрицю поліетилену або поліаміду, коли проходить процес *екструдювання* рис. 3.14.

Газополуменеве напилення порошкових полімерних матеріалів здійснюється на установках аналогічно покриттю порошкових металевих матеріалів. Поверхні, що покривають ретельно очищають від всіх видів забруднень і оксидів, а поверхні, що не підлягають покриттю, захищають екранами з фольги або азбесту. Перед напиленням деталь покривають теплоізоляційним ґрунтом і нагрівають газовим пальником до температури, що перевищує температуру плавлення полімерного порошку, що оберігає покриття від розтріскування після охолодження.

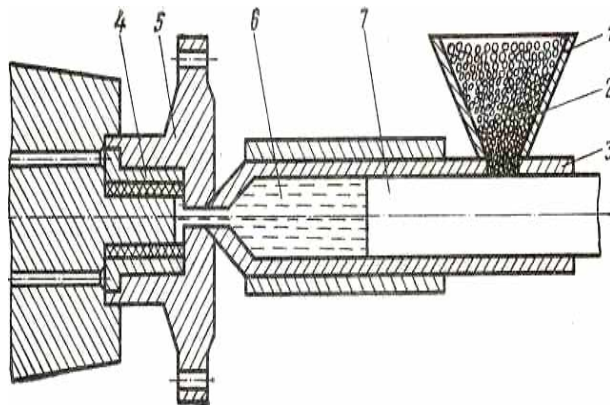


Рис. 3.14. Схема відновлення деталей литтям під тиском: 1 – бункер; 2 – полімерний матеріал; 3 – циліндр; 4 – деталь; 5 – пресформа; 6 – розплавлений полімерний матеріал; 7 – поршень

При напиленні порошок полімеру подається в газове полум'я інжекторного газового пальника і струменем стисненого повітря під тиском 0,4 - 0,6 МПа в розплавленому стані наноситься на поверхню деталі. Порошок розплавляється під дією газового полум'я та попередньо нагрітого виробу. Використовуються спеціальні порошки, наприклад, ТПФ-37, ПФН-12, а також поліетилен, капрон, полістирол і різні склади з цих та інших поліамідних матеріалів з наповнювачами. Товщина покриття може досягати 10 мм. За один прохід покривається поверхня завширшки 20 - 70 мм. Після нанесення покриття його додатково прогривають полум'ям пальника або в нагрівальному пристрої і для ущільнення прокочують металевим валиком.

При напиленні неметалевих матеріалів деталь часто вже не підігривають, а покривають спеціальним клеєм, що забезпечує більш міцне зчеплення покриття з виробом.

За ремонтування машин газополум'яне напилювання полімерних матеріалів застосовують для закладення дрібних дефектів деталей і слідів зварювання, нанесення антифрикційного, антикорозійного, електроізоляційного, теплоізоляційного і декоративного покриття.

Клеєзварювання при усуненні тріщин. Суть нової технології полягає в приварюванні точковим способом електроконтакта тонкої сталеві накладки по шару рідкого клею на ділянку чавунної деталі з тріщиною (рис. 3.15).

При реалізації клеєзварного методу для закладення тріщин можливо утворити високоміцне з'єднання, що забезпечує ресурс відновлених деталей не нижче 80% ресурсу нових, досягти повної герметизації ділянки забілення, підвищити продуктивність праці, виключити застосування дефіцитних і дорогих матеріалів. У зв'язку з малою вивченістю процесу формування КС і його застосування для закладення тріщин проведені дослідження впливу на якість з'єднання чинників: стани поверхонь деталей, параметрів режиму зварювання, складу клейових композицій і конструктивних параметрів.

Експериментальним шляхом встановлено, що спосіб підготовки поверхонь деталей значно впливає на міцнісні властивості з'єднання. Дослідження показали, що кращу технологічність при усуненні тріщин має підготовка поверхонь абразивним кругом або металевою щіткою. Шорсткість поверхні при цьому складає R_a 1,25 - 2,5, що дозволяє повністю видалити клейовий прошарок із зони контакту і якісно приварити накладку до поверхні чавунної деталі.

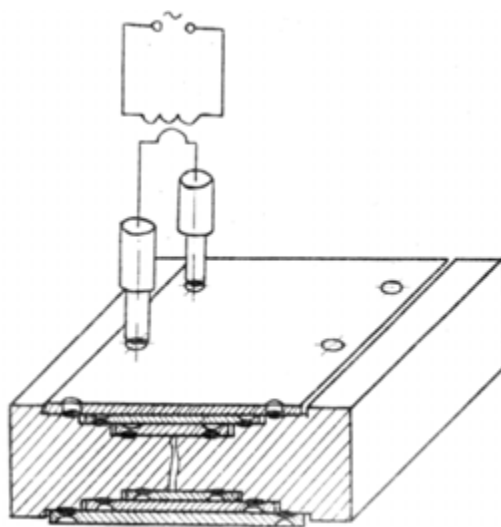


Рис. 3.15. Схема реалізації клеєзварювального з'єднання (приварювання пластини до корпусної деталі)

Як показали попередні експерименти, рекомендовані в літературі режими зварювання при розробці нової технології відновлення деталей не можуть бути використані. Існуючі клейові композиції виявилися також непридатними для реалізації клеєзварного методу, внаслідок низької якості з'єднання. Тому, проведений комплекс теоретичних і експериментальних досліджень за визначенням оптимальних параметрів режиму зварювання і клейових композицій для КС сталь-

чавун. Режими зварювання уточнювалися в три етапи.

На підставі результатів попередніх досліджень встановлено, що використання одного імпульсу зварювального струму супроводжується освітою в зоні сплаву твердих, крихких структур: ледебуриту, мартенситу з прошарками фериту і вуглецю, що не розчинився. З'єднання з такого роду структури зварного ядра має зниженою працездатністю, особливо в умовах циклічного вантаження. Тому, для поліпшення робочих характеристик КС зварювання проводили в двоімпульсному режимі. Другий імпульс чинить відпалювальну дію на крихкі структури зварного ядра. Це дозволило понизити мікротвердість зони сплаву на 15 - 21%. Кількість ледебуриту зменшена на 18 - 20%. У зварному ядрі виявлені структури трооститу і сорбіту.

Для встановлення оптимального теплового режиму при зварюванні і утворення якісного КС, що забезпечує бездефектне відновлення деталей, досліджено на першому етапі, вплив параметрів режиму зварювання на діаметр зварного ядра ($d_{зв}$) і зону термічного впливу ($h_{тв}$). Ці показники якості КС являються найпростіше визначувані при контактному точковому зварюванню.

Експериментальним шляхом визначено, що зміна зварювального і відпалювального струмів від 6,0 до 11,0 кА призводить до збільшення $d_{зв}$ і $h_{тв}$. Область визначення цих величин змінюється в межах: 5,62 - 7,76 і 0,457 - 2,070 мм, відповідно. Проте, використання як малих ($\leq 5,5$ кА), так і великих (> 12 кА) по силі імпульсів струмів призводить до утворення з'єднання з дефектами: непровари, несиметрична ядра, виплески і тріщини. Якісне формування КС можливо на середньому інтервалі варіювання величин: $I_{зв} = 7,5 - 11$ кА, $I_{тв} = 5,5 - 8,5$ кА.

Для визначення умов оптимального прогрівання зварюваних контактним точковим зварюванням деталей нерівної товщини дуже важливо встановити тривалість зварювального і відпалювального імпульсів струмів. При збільшенні цих параметрів розміри зварювальних точок збільшуються, що пояснюється виділенням в зоні сплаву більшої кількості тепла. Вони визначені в інтервалах: 5,76 - 7,84 і 0,69 - 1,87 мм, відповідно $d_{зв}$ і $h_{тв}$. Можливими умовами формування КС в тимчасовому інтервалі являються: $t_{зв} = 0,12 - 0,34$ с, $t_{тв} = 0,36 - 0,52$ с.

З метою якісного формування КС потрібне створення умов деформації в макроконткті, при яких клейовий прошарок повністю видалений із зони зварювання. Тому важливо визначити величини зусилля і тривалості стискування електродів, при яких виконується ця вимога. Як встановлено, збільшення зусилля стискування електродів супроводжується зменшенням розмірів зварювальних точок, що пояснюється зниженням контактного опору і зменшенням тепловиділення при зварюванні. Збільшення тривалості стискування електродів призводить до незначного збільшення розмірів зварювальних точок (0,46 - 0,64 мм) і впливає в основному на умови формування необхідного контакту в зоні зварювання, видалення клею з неї. Визначено, що формування КС можливо при реалізації наступних величин цих параметрів; $P_{cm} = 1,5 - 2,7$ кН і $t_{cm} = 0,52 - 0,80$ с, при оптимальному діаметрі електрода.

З метою звуження областей визначення шуканих параметрів режимів зварювання, проведені механічні випробування КС і встановлені його міцнісні характеристики при статичному вантаженні. Дослідження показали, що залежності міцності КС від величини параметрів режимів зварювання мають параболічний характер з вираженим екстремумом. Математичний аналіз отриманих функцій дозволив визначити величини шуканих параметрів режимів приварювання накладки до деталі по шару рідкого клею близькі оптимальним: $I_{зв.} = 9,5 - 10,0$ кА, $I_{mv.} = 7,5 - 8,0$ кА, $P_{cm.} = 2,1 - 2,4$ кН, $t_{зв.} = 0,28 - 0,32$ с, $t_{тв.} = 0,42 - 0,44$ с, $t_{cm.} = 0,72 - 0,76$ с.

При реалізації цих параметрів міцність з'єднання складає 154 - 167 МПа, що менше міцності металу-деталі. У зв'язку з цим потрібна оптимізація процесу формування з'єднання. Визначені на цьому етапі досліджень параметри режиму були нульовим рівнем при плануванні експерименту.

Проведені дослідження за визначенням складу клейових композицій для КС сталь-чавун показали, що вибір типу і кількості затверджувача робить значний вплив на забезпечення необхідної міцності і технологічності клею. На підставі експериментальних даних побудовані графічні моделі, що апроксимують вплив кількості затверджувача на міцність з'єднання і величину непроклею, для різних еднальних ЕД- 6, ЕД- 16, ЕД- 20. Встановлено, що вищу міцність при малому непроклею мають клейові композиції на основі епоксидних олігомерів ЕД- 16 і ЕД-

20, затверджені діетипентриаміном. Необхідна міцність з'єднання забезпечується при використанні наступних кількостей затверджувача : ЭД-16 – 8 - 10 мас.ч., ЭД-20 – 10 - 12 мас.ч. – діетилентриаміну.

Для надання клейової композиції необхідній при закладенні тріщин пластичності і пружності, до її складу введені пластифікатори. Проведена порівняльна оцінка якості з'єднання при використанні двох різних речовин : дибутилфталата і полісульфідного каучуку (НВБ-2). Досліди показали, що використання НВБ-2 прийнятніше, ніж ДБФ. Міцність з'єднання при його використанні вища, але технологічність нижча. Клейова композиція, пластифікована НВБ-2, погано видаляється із зони зварювання. Це пов'язано з тим, що він вступає в хімічну взаємодію з молекулами матриці, утворюючи важкороздільну гомогенну структуру. ДБФ не вступає в хімічні реакції з основною і, уклинюючись в ланцюги полімеру, знижує його міцність. При тривалій експлуатації ДБФ вивітрюється з затвердженого полімеру, що знижує адгезійну взаємодію на межі клей-метал.

Для поліпшення технологічних властивостей клейових композицій, пластифікованих НВБ- 2, в них вводили розчинник вінілокс. Це дозволило понизити і стабілізувати величину контактного опору і задати необхідний, тепловий режим при зварюванні. При введенні вінілокса зниження міцності КС не спостерігалось. Встановлено, що раціональною кількістю НВБ- 2 є величина 15 - 22 мас.ч., при введенні розчинника вінілокс 18 - 22 мас.ч.

Для збільшення теплопровідності, електропровідності, лінійного і об'ємного розширення клейових композицій, що має важливе значення при закладенні тріщин, в них вводили наповнювачів. Проведені порівняльні дослідження властивостей клейових композицій, наповнених чавунним порошком і графітом. Використання цих наповнювачів пов'язане з необхідністю надання клейовому покриттю властивостей подібних до деталей, що сполучаються. Порівняльні випробування показали, що кращі властивості мають клейові композиції, наповнені чавунним порошком у кількості 40 - 80 мас.ч., зернистістю 40 - 150 мкм.

Таким чином, встановлені на підставі результатів досліджень параметри режимів зварювання і склад клейових композицій дозволяють формувати КС з досить високим, але не оптимальною якістю. Про це свідчать результати

підсумкових механічних випробувань зразків з'єднання, міцність 164 - 171 МПа, непоклей 2,7 - 3,7%.

Застосування синтетичних клейових композицій. Одним з найвідоміших технологічних процесів з використанням клейових композицій є наклеювання антифрикційних накладок на гальмівні колодки і диски зчеплення.

Суть процесу приклеювання розглянемо на прикладі ремонтування гальмівних колодок. Зношені гальмівні накладки видаляються з поверхні колодок. Після цього колодки зачищають до металічного блиску, знежирюють ацетоном і сушать протягом 10хв. Нові фрикційні накладки зашкурюють і знежирюють. На спряжені поверхні колодок і гальмових накладок наносять перший шар клею ВС-10Т товщиною 0,1-0,2мм, після чого деталі витримують 15-20хв. У шарі клею не повинно бути бульбашок повітря, води, оливи і бруду. Другий шар наносять так, як і перший. Підготовлені колодки і накладки встановлюють у пристрої типу ОП-1468-13-070, який забезпечує притискання поверхонь з питомим тиском 0,2 - 9,5 МПа. Зміщення накладок відносно колодок допускається не більше 0,5мм. Затиснуті у пристрої колодки і накладки витримують у термошафі при $180\pm 10^{\circ}\text{C}$ протягом 1 - 2 год, після чого охолоджують із шафою до 70 - 100 $^{\circ}\text{C}$ з наступним охолодженням на повітрі.

Для склеювання антифрикційних матеріалів з металічними деталями, які працюють в інтервалі температур 60 - 200 $^{\circ}\text{C}$, використовують клей на основі модифікованих фенолоформальдегідних смол ВС-10Т, ВС-350, БФТ-52, ГИПК 11-10.

Якість склеювання перевіряють обстукуванням диску зчеплення молотком. Гальмівні колодки після склеювання обов'язково випробовують на зсув у спеціальному пристрої. Зусилля зсуву повинно бути не менш як 17МПа.

Переваги застосування металополімерів:

- не потрібні термічне або механічний вплив на відновлювану поверхню, спеціальне технологічне обладнання та захисне середовище;

- екологічно безпечні умови праці, оскільки застосовуються компоненти Металополімери не містять і не утворюють при взаємодії між собою летючі токсичні речовини;

- пожежна безпека ремонтно-відновлювальних робіт.

Технологія відновлення різьбових поверхонь методом холодного зварювання за допомогою металополімерів відрізняється простотою і малою трудомісткістю. Різьбову поверхню еталонного болта змочують спеціальною розділовою рідиною (двовідсотковим розчином поліізобутилена в бензині) і покривають металополімером, наприклад, ремонтно-композиційним матеріалом. Потім болт вкручують в очищене і знежирений відновлюваний отвір для болта чи шпильки. Завдяки роздільній рідині, металополімер зчіплюється тільки з матеріалом відновлюваної деталі. Після затвердіння металополімера, болт вигвинчують з отвору. Висока якість відновлення різьбових поверхонь можливо тільки при правильному виборі полімерного матеріалу виходячи з його властивостей і умов експлуатації нарізного сполучення.

Сильно зношені різьбові отвори в корпусних деталях часто відновлюють установкою викруток, для більш надійного закріплення яких у деталі використовується епоксидний склад.

При невеликому зносі різьбове з'єднання відновлюють шляхом нанесення епоксидного складу на підготовлені різьбові поверхні обох деталей з'єднання. При зносі до 0,3 мм застосовують епоксидний (смола ЕД – 16) склад або анаеробний герметик, а при зносі більш як 0,3 мм – склад (смола ЕД-20) в залежності від матеріалу деталі. Для стопоріння різьбових з'єднань застосовують анаеробний герметик або склад на основі епоксидної смоли ЕД-16. Ефективність використання зазначених матеріалів залежить від дотримання режиму їх затвердіння і вимог до підготовки поверхонь.

Особливості механічної обробки полімерних покриттів

Особливості механічної обробки полімерних покриттів обумовлені їх властивостями. Через абразивну дію наповнювачів знос різального інструменту при обробці полімерних матеріалів може бути більше, ніж при обробці металів. Низька теплопровідність полімерного матеріалу є причиною більш інтенсивного відводу тепла з зони різання через різальний інструмент, що вимагає його надійного охолодження.

Для охолодження інструменту і одночасного видалення стружки рекомендується використовувати не мастильно-охолоджувальну рідину, а стиснене повітря. Щоб уникнути викришування покриття під дією сил різання необхідно застосовувати гостро заточені інструменти. Діаметр свердла слід вибирати на 0,5 - 0,15 мм більше діаметра отвору, зазначеного на кресленні, оскільки діаметр отвору, просвердленого в полімері, зазвичай зменшується.

Шліфування полімерів виконують абразивним кругом зі швидкістю різання 30 - 40 м/с. Для обробки термопластів рекомендується застосовувати не цілісні з абразивного матеріалу, а круги, набрані з щільних полотняних, суконних і фланелевих кругів. Діаметр кругів 300 - 500 мм, товщина 80 - 90 мм. Їх просочують абразивною пастою з тонко подрібненої пемзи з водою. Шліфування повинно вестися при легкому притиску круга до оброблюваної поверхні, щоб виключити розігрівання покриття.

Для шліфування термореактивних матеріалів застосовують білий електрокорунд із зернистістю 46 і твердістю СМ-1. Глибина різання до 0,5 мм, швидкість переміщення деталі 0,5 м/хв, швидкість різання 35 м/с.

При використанні полімерних матеріалів, особливо, епоксидних композицій і синтетичних клеїв, необхідно суворо дотримуватись заходів техніки безпеки, оскільки багато компонентів, що входять до їх складу, токсичні та вогнебезпечні.

Розділ 4. СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЮВАННЯ

4.1. Металізування

Надзвукова газополум'яна металізація. Тепер ширшого застосування отримують способи надзвукової металізації (Jet-Coat "Джет-Коут").

На сьогодні виробники пропонують пальник масою 3,5 кг, який охолоджується проточною водою. Система займання – п'єзоелектрична. Продуктивність (по порошку) становить 1,5 кг/год.

Ведуться роботи з розроблення принципово нового надзвукового пальника «Терміка-НС» («Termika-Hyper-Sonic», що належить до системи «HVOF»). Пальник для надзвукового газополум'яного напилення покриттів з порошкових матеріалів та дроту працює на пропан-бутановій суміші або газі МАФ, кисні і стисненому повітрі як транспортувальний і охолоджувальний газ. Швидкість закінчення струменя розігрітого газу на зрізі сопла пальника сягає 1700 - 2700 м / с, що дозволяє отримувати унікальні покриття з міцністю зчеплення до 100 МПа. Пористість покриття становить 0,5 % і приблизно наближається за своїми характеристиками до покриттів, одержуваних детонаційним напиленням. За товщини покриття до 0,3 мм пористість практично відсутня. Надзвукове газотермічне напилення дозволяє наносити якісні корозійностійкі газотермічні покриття.

Порошкові матеріали, що використовуються для надзвукового газотермічного напилення, являють собою широкий спектр сплавів на основі нікелю, заліза і кобальту, а також металокарбідні та самофлюсні сплави нітридів кремнію, алюмінію, хрому, бору тощо.

Однак надзвукове газотермічне напилення підвищило вимоги до фракцій порошку. Якісні покриття отримують за фракцій 5- 40 мкм, чим менше розсіювання розмірів частинок порошку, тим краще покриття.

Як присадковий матеріал у пальнику «Терміка-НС» використовують як дріт, так і порошок матеріал. Виробники запропонували порошок живильник компактної оригінальної конструкції, в якому стисле повітря використовується як транспортувальний газ. Досягнута стабільна подача порошкового матеріалу з продуктивністю 1,5 - 5 кг / год. Основна перевага даного пальника у порівнянні з

іншими зразками стаціонарних установок полягає у її мобільності. Необхідна лише наявність додатково компресора стисненого повітря. З механізмом подачі дроту від зварювального напівавтомата можливе напилення дротів та порошкових дротів діаметром 1,5 - 2,2 мм, що значно дешевше за порошкові матеріали.

Технічна характеристика пальника «Терміка-NS» для надзвукового газополум'яного напилення покриттів:

Тип переносний

Продуктивність, кг/г 3 - 4

Тиск газів, МПа:

Кисень 0,6 - 0,8

Пропан-бутан 0,2 - 0,35

Стиснене повітря 0,45 - 0,8

Витрата газів, м³/г:

Кисень 6 - 8

Пропан-бутан 3

Стиснуте повітря 10 - 20

Корисний об'єм порошкового живильника, л 0,5 - 1,0

Грануляція порошкового матеріалу, мкм 10 - 40

Діаметр дроту, що напилюється, мм 1,5 - 2,2

Гранична товщина покриття, мм 1,5

Гранична товщина покриття для самофлюсів, мм 05 - 10

Міцність зчеплення, МПа 50 - 90

Пористість, % до 1,0

Коефіцієнт використання матеріалу, % 40 - 75

Маса пальника, кг 1,2

Габаритні розміри пальника, мм 130x140x60

Надзвукове газодинамічне напилення. В устаткуванні ДИМЕТ реалізований газодинамічний спосіб формування металевих покриттів, що передбачає використання лише кінетичної енергії твердих частинок.

Спосіб розроблений на основі відкритого у 80-х роках минулого століття ефекту закріплення твердих частинок, що рухаються з надзвуковою швидкістю, на

поверхні при зіткненні з нею. Нанесення покриттів передбачає нагрівання стисненого газу (повітря), подавання його в надзвукове сопло та формування в цьому соплі надзвукового повітряного потоку, подачу в цей потік порошкового матеріалу, прискорення цього матеріалу в соплі надзвуковим струмом повітря і скерування його на поверхню виробу, що обробляється.

Дрібні металеві частинки, що перебувають у твердому стані, прискорюються надзвуковим газовим потоком до швидкості у кілька сотень метрів на секунду і прямують на підкладку. Зіштовхуючись з підкладкою, частинки закріплюються на ній, формуючи суцільне покриття. Частинки робочого порошку при цьому мають температуру значно нижчу за температуру плавлення. У найбільш поширених газотермічних методах нанесення покриттів для формування покриттів з потоку частинок необхідно, щоб падаючі на підкладку частинки мали високу температуру, зазвичай вище температури плавлення матеріалу. У технології газодинамічного напилення ця умова не є обов'язковою. З твердою підкладкою взаємодіють частки, що знаходяться у нерозплавленому стані, але мають дуже високу швидкість.

За напилення двокомпонентного порошку, в якому одним компонентом є пластичний метал, а другим – порошок кераміки або більш твердого металу, процес протікає іншим чином, причому характер взаємодії з поверхнею підкладки металевих та керамічних частинок істотно відрізняється.

Частинки кераміки під час удару не деформуються або відскакують від поверхні, виносячи при цьому частину матеріалу цієї поверхні, або занурюються в неї, утворюючи міцне механічне зчеплення з підкладкою (рис. 4.1). Внаслідок абразивного впливу високошвидкісних частинок на підкладку відбувається ефективне очищення поверхні від механічних забруднень, окисних плівок, абсорбованих речовин, оливо, фарб, а також оголення ювенільних ділянок поверхні, формування розвиненого мікрорельєфу поверхонь та активація металу підкладки.

Під час зіткнення металевих частинок з поверхнею підкладки проходить їх пластична деформація та утворення хімічних зв'язків у плямі контакту. Наступні удари керамічних частинок по закріплених на поверхні частинкам металу додатково деформують їх, ущільнюючи тим самим покриття, зменшуючи його пористість і

збільшуючи когезійну міцність. Удари металевих частинок та їх закріплення призводять до формування наступних шарів покриття.

В результаті формується покриття, яке являє собою композитний матеріал, що складається з їх металевої матриці і включених до неї окремих твердіших, ніж метал матриці частинок.

Пористість газодинамічних покриттів, що визначається як відсоткове відношення об'єму порожнин у покритті до загального об'єму покриття, може змінюватися в досить широких межах. Вимірювання показали, що пористість газодинамічних покриттів становить 3 – 7 %, що істотно менше пористості покриттів, одержуваних дуговою металізацією, і що можна порівняти з пористістю детонаційних покриттів.

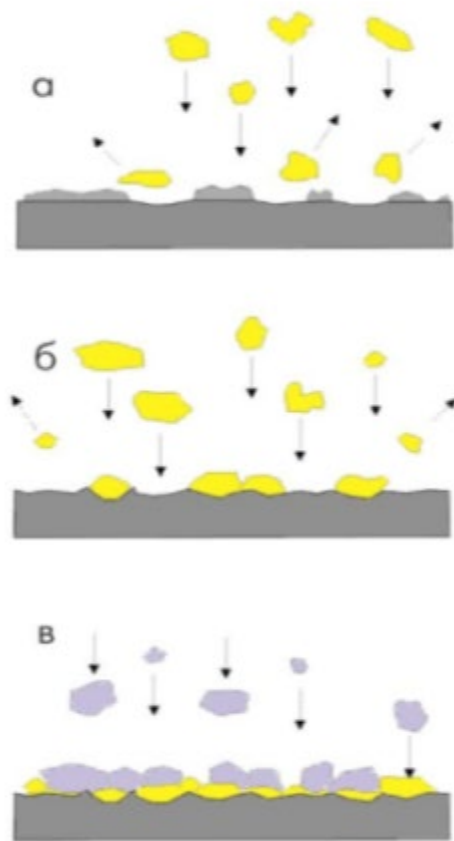


Рис. 4.1. Процес формування покриттів: *a* - очищення та активація поверхні; *б* - формування зони контакту покриття з підкладкою; *в* - ударне ущільнення попередніх шарів і наростання наступних шарів

Товщина покриттів визначається технічними вимогами до покриття та технологічним режимом нанесення. Покриття можуть оброблятися всіма відомими способами механічного оброблення – свердління, стругання, фрезерування, токарне оброблення, шліфування, полірування тощо.

Устаткування серії ДИМЕТ призначене для нанесення алюмінієвих мідних, цинкових, нікелевих і бабітових покриттів, воно не має аналогів. Конструкція захищена патентами США, Канади, Китаю, Кореї, Європатентом.

Тепер випускається дві модифікації обладнання, призначені для ручного або автоматизованого нанесення металевих покриттів: модель 403 (рис. 4.2) та модель 412 (рис. 4.3).



Рис. 4.2. Установа «ДИМЕТ-403» для газодинамічного нанесення покриттів

Обладнання дозволяє також проводити струменево-абразивне оброблення поверхонь перед нанесенням покриттів. До складу обладнання входять: напилювач, модуль підготовки повітря, порошкові живильники, блок контролювання та управління. Для роботи обладнання необхідне стиснене повітря під тиском 0,6 - 1,0 МПа і витратою 0,3 - 0,4 м³/хв, електромережа з живильною напругою 220 В. Продуктивність за масою покриття, що наноситься на основі алюмінію становить 1 - 6 г / хв.



Рис. 4.3. Установка «ДИМЕТ-412» для газодинамічного нанесення покриттів

Технічна характеристика установки «ДИМЕТ-403»:

Параметри повітря, що підводиться:

Максимальний тиск, кгс/см² (МПа) 16 (1,6)

Максимальна витрата, м³/хв 0,3

Клас забрудненості повітря згідно з ГОСТ 17433-80 1, 3, 5

Температура, °С трохи більш як 40

Параметри повітря в напилувачі:

робочий тиск, кгс/см² (МПа) від 5 до 9 (від 0,5 до 0,9)

робоча температура нагріву, °С від плюс 200 до плюс 650

Порошковий матеріал, що використовується, виробництва ОЦПН:

- для нанесення алюмінієвих покриттів А-XX-XX
- для нанесення цинкових покриттів Z-XX-XX
- для нанесення мідних покриттів С-XX-XX
- для очищення поверхонь К-00-04-XX
- дисперсність порошків, мкм менш як 200

Витрата порошкового матеріалу, г/с від 0,1 до 0,8

Час виходу на режим, не більш як 10

Надзвукове газодинамічне напилення має ряд переваг у порівнянні з найближчими до нього газотермічними методами:

- 1) для формування покриттів використовується негорючий стиснений газ – повітря; покриття наноситься у повітряній атмосфері за нормального тиску;
- 2) під час нанесення покриттів виявляється незначний тепловий вплив на порошок матеріал і покривається виріб, завдяки чому, вони не піддаються окисненню та термічним деформаціям у процесі нанесення покриття;
- 3) покриття мають високу адгезію, когезію, щільність і низьку пористість;
- 4) технологія нанесення покриттів екологічно безпечна (відсутні високі температури, небезпечні гази та випромінювання, немає хімічно агресивних відходів, що потребують спеціальної нейтралізації);
- 5) обладнання відрізняється простотою експлуатації, компактністю, може вбудовуватись у автоматизовані робочі пости;
- б) можливе використання обладнання у польових умовах.

Використання обладнання ДИМЕТ є доцільним у випадках, коли не висувається високих вимог щодо твердості та зносостійкості покриття. Покриття можна наносити практично на деталі з будь-яких металів. Технологія особливо ефективна для відновлення деталей з алюмінію та його сплавів. Внаслідок незначного температурного впливу за нарощування не відбувається структурних перетворень металу та деформацій деталі, можливе напилення тонкостінних деталей.

Області застосування технології та обладнання ДИМЕТ:

1. Відновлення втрачених обсягів металу:

а) ремонтування алюмінієвого лиття (тріщин, каверн тощо) у виробництві деталей (рис. 4.4). Застосування розглянутої технології дозволяє значно знизити втрати від браку;

б) відновлення посадкових місць підшипників. Традиційна технологія відновлення посадкових місць не піддається уніфікації, насамперед через різноманітність матеріалів, з яких виготовлені підшипникові щити (сталь, чавун, алюміній тощо), що вимагає застосування різних способів наплавлення. За використання обладнання ДИМЕТ процес нарощування металу уніфікується через

те, що покриття можуть наноситися на будь-які метали, з яких можуть бути виготовлені **щити**;

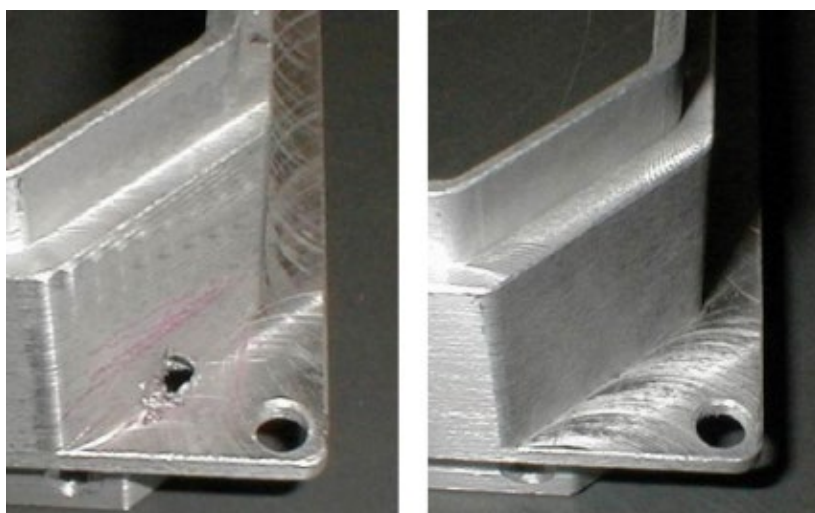


Рис. 4.4. Усунення дефектів лиття, виявлених після оброблення деталі

в) усунення механічних пошкоджень тонкостінних алюмінієвих деталей на прикладі ремонтування картера. За руйнування шатуна двотактного двигуна утворилася пробоїна в тонкостінному алюмінієвому картері, виготовленого литтям під тиском (рис. 4.5). Мала товщина стінки (2,5 мм), структура алюмінію та геометрія деталі виключили можливість застосування аргонодугового зварювання. Ремонтівання за допомогою обладнання ДИМЕТ складався з двох операцій: загортання отвору за допомогою металевої заглушки і наступної герметизації шва алюмінієвим покриттям з обох боків деталі. Покриття забезпечило необхідну міцність «латки» та її герметичність.

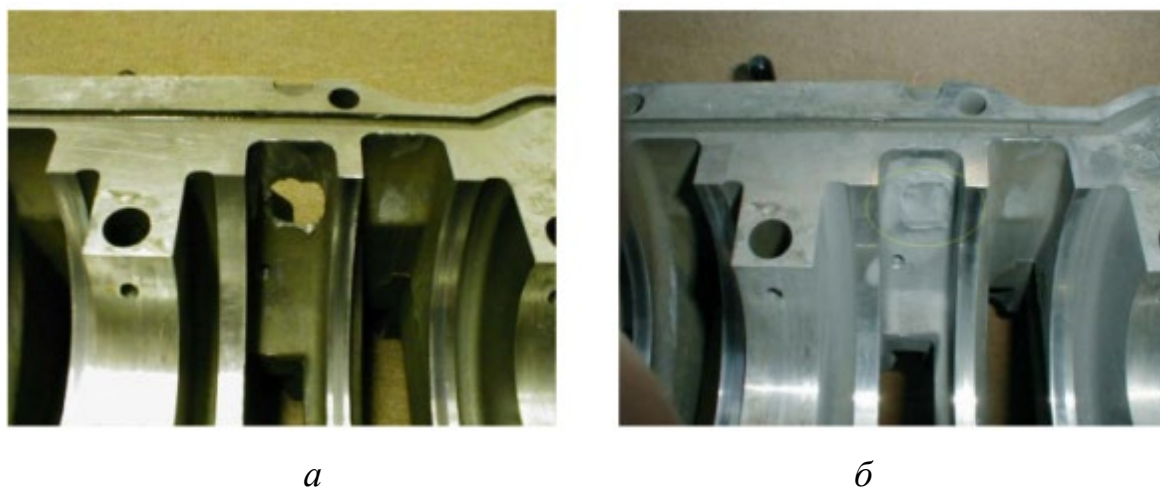


Рис. 4.5. Усунення механічних пошкоджень (пробоїн): до ремонтування (а), після ремонтування (б)

2. Герметизація протікання рідин та газів. Технологія та обладнання ДИМЕТ дозволяє усувати протікання робочих газів та рідин у випадках, коли неможливе використання герметиків. Ефективне використання технології для ремонтування протоків, що працюють під тиском або за низьких та високих температур: елементів кріогенних систем, систем охолодження, трубопроводів, теплообмінників тощо. (рис. 4.6).



Рис. 4.6. Герметизування протікання кріогенних місткостей

3. Нанесення електропровідних покриттів. Технологія дозволяє наносити металеві покриття з високою електропровідністю на будь-яку металічну або керамічну основу. Це дозволяє застосовувати покриття в різних електронних та електротехнічних виробках, зокрема, для нанесення провідних доріжок, контактних майданчиків на металеві та керамічні деталі, підшарів під пайку (рис. 4.7).

Надзвукова електродугова металізація. Собівартість відновлення деталей електродуговою металізацією (ЕДМ) в 2,5 - 6 разів нижче, ніж методами газотермічного напилення. Нагрівання колінчастих валів двигунів за ЕДМ сягає 100 - 120 °С. Процес відрізняється високою продуктивністю.

Науковці розробили електродуговий металізатор, який включає механізм подавання дроту, розпилювальну головку, пульт керування.



Рис. 4.7. Мідні покриття на алюмінієвих зажимах-з'єднувачах для ЛЄП

Металізатор має підвищену електричну потужність, яка необхідна для створення енергомісткого двофазного (повітря – частки напилюваного матеріалу) струменя. Високу швидкість, температуру і концентрацію металізаційного струменя забезпечує розпилювальна головка. Були випробувані різні варіанти створення металізаційних струменів з високими температурно-кінетичними параметрами, в т. ч. і застосуванням згоряння пропану в спеціальній камері. В результаті робіт та газодинамічних розрахунків створена розпилювальна головка, що забезпечує висококонцентрований понадзвуковий металізаційний струмінь з напівкутом розширення $4,5 - 6^\circ$ і використовує тільки стиснене повітря.

Як напилюваний матеріал використовують порошкові дроти, що мають у своєму складі хром, алюміній, марганець та інші легувальні елементи. Використання порошкових дротів дозволяє в широких межах регулювати хімічний та фазовий склад покриттів і, відповідно, експлуатаційні властивості покриттів.

Результати досліджень властивостей покриттів залежно від швидкості витікання повітря із сопла наведено в табл. 4.1.

Як видно з табл. 4.1, адгезія покриття зі збільшенням швидкості витікання металізаційного струменя підвищується.

Мікроструктура покриття зазнає значних змін за збільшення швидкості польоту частинок. За дозвукових швидкостей закінчення повітря мікроструктура покриття крупниста, з великою кількістю пор. Більшість частинок витягнутої

деформованої форми. У міру збільшення швидкості закінчення повітря, покриття мають все тоншу мікроструктуру, а пористість зменшується. Покриття за товщиною має рівномірну структуру, перехідна зона щільна. Відзначаються тонкі окисні плівки.

Таблиця 4.1

Властивості покриттів в залежності від швидкості витікання повітря із сопла надзвукового електродугового металізатора

Властивості покриття	Одиниця вимірювання	Розрахункова швидкість повітря з металізатора, м/с			
		210	372	520,5	609,3
Твердість	HRC	56	46	42	39
Адгезія	МПа	32	43	59	68
Пористість	%	12,1	5,8	3,9	3,6
Вміст вуглецю	%	0,32	0,21	0,13	0,11

Дослідженнями встановлено, що покриття, отримане за оптимального режиму наплення, має зносостійкість не нижче ніж загартована сталь 45.

Надзвуковою електродуговою металізацією відновлюють колінчасті вали дизелів зі зносом до 4 мм. Собівартість відновлення становить 25 – 40 % вартості нового колінчастого валу.

Газотермічна металізація воднево-кисневим полум'ям.

Газополум'яне наплення традиційно здійснюється за допомогою ацетилено-кисневого полум'я. Одним з перспективних енергоносіїв для газополум'яного наплення є воднево-киснева суміш, одержувана електролізом води.

Зараз водень розглядається як найбільш перспективний вид пального, універсальний теплоносій та акумулятор енергії. У порівнянні з традиційними вуглеводневими енергоносіями водень має вищу (приблизно в 3 рази) питому теплоту згорання і не забруднює довкілля під час горіння.

Пальники, що застосовуються під час відновлення деталей газополум'яним напленням, схожі за принципом роботи, але мають свої особливості. Недоліком пальників є низький рівень використання енергії згорання ацетилену в кисні через недостатнє фокусування полум'я щодо осі напильованого струменя. Фокусуванню полум'я заважає струмінь транспортування кисню, що «роздуває» полум'я.

Конструкція пальника «ІСКРА-1В», в якій транспортувальним газом є воднево-киснева суміш полум'я, що є одночасно горючим газом і енергоносієм. У пальнику забезпечується кращий прогрів частинок, що напилюються і, відповідно, підвищується якість покриття.

Конструкція пальника «ІСКРА-1В», відрізняється від пальника «ІСКРА-1», що працює на ацетилені, конструкцією соплового наконечника. Змінено відношення розмірів порошкового каналу та вихідних отворів мундштука, що оберігає пальник від зворотного удару по порошковому каналу за використання воднево-кисневої суміші, а також вирівнює швидкість витікання воднево-кисневої суміші та швидкість її горіння. Швидкість горіння воднево-кисневої суміші в 1,7 раза вища швидкості горіння ацетилену, відповідно вища і швидкість закінчення газового струменя, збільшується швидкість польоту розплавлених частинок. Продуктами згорання горючої суміші є водяна пара, що дозволяє уникнути забруднення навколишнього середовища від шкідливих викидів.

Відмінність у тому, що до кисневого ніпеля пальника підводиться воднево-киснева суміш, а до ацетиленового – вуглецевмісний газ, наприклад, пропан-бутан (до 5% для створення відновного полум'я).

Для виробництва воднево-кисневої суміші використовують електролізно-водний генератор, що має наступні технічні характеристики:

Номинальна потужність, кВт 20

Продуктивність по газовій суміші при
номинальній потужності, не менше, л/год 6000

Тиск газової суміші, МПа 0,5

Електроживлення, В 380, трифазне

Габаритні розміри (ширина × довжина × висота), мм, не більш як:

блок електролізера 360x1290x830

блок живлення 270x520x370

блок водяних затворів 190x440x470

виносний пульт керування 190x235x110

Вага, кг, не більш як

блок електролізера (сухий) 98

блок живлення 19

блок водяних затворів (сухий) 16

виносний пульт керування 3

Устаткування використовується під час напилювання всіх класів порошкових матеріалів, що плавляться за температури до 2800 °С без розкладання.

Для напилення використовували самофлюсовані, важкотопні порошки на нікелевій основі ПРНХ17С4Р4. Під час дослідження поверхонь, відновлених з використанням різних газів (ацетиленове та воднево-кисневе полум'я), встановлено, що мікротвердість покриття, напиленого ацетиленовим полум'ям HV 534, вдвічі нижче, ніж аналогічне покриття, отримане за допомогою воднево-кисневого полум'я HV 1043.

Застосування електролізно-водних генераторів як джерела воднево-кисневої суміші має такі переваги:

1) апарати вибухобезпечні під час зберігання та роботи. Час від вмикання холодного непрацюючого апарату до виходу на робочий режим складає 1 – 5 хв, в залежності від навколишньої температури і необхідної витрати газу;

2) продуктивність апарата автоматично підтримується рівною витраті газу на пальник, тому маса речовини, що вибухає (воднево-кисневої суміші) у працюючому апараті невелика;

3) напилення відрізняється екологічною чистотою, оскільки продуктом горіння є водяна пара;

4) витрати на горючі гази за відновлення деталей у 3 - 4 рази нижче в порівнянні з традиційним газополум'яним напиленням.

4.2. Імпульсно-плазмове зміцнювання

Спосіб розроблений в Інституті електрозварювання ім. О. Є. Патона НАН України. Підвищення потужності імпульсу здійснюється внаслідок детонації горючої газової суміші в реакційній камері (РК) 1 (рис. 4.8), в якій між двома коаксіальними електродами наведено електричне поле E . По осі РК закріплений металевий електрод 2, кінець якого за перегрівання еродує і забезпечує введення в

плазмовий струмінь парів металу. Ініціювання детонації в РК здійснюється малогабаритним детонаційним пристроєм 3. Через цей же пристрій здійснюють заповнення РК компонентами пального газової суміші.

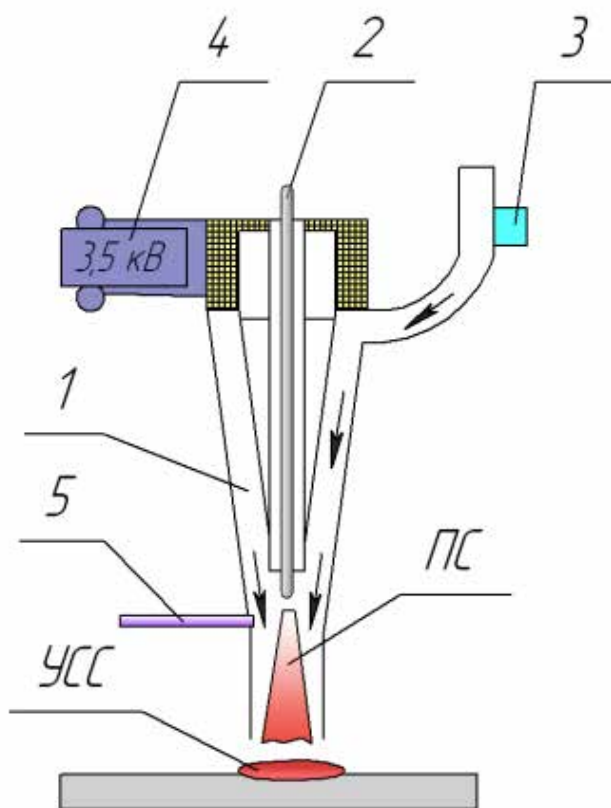


Рис. 4.8. Детонаційний пристрій з електромагнітним принципом вводу додаткової енергії

Енергію підтримання напруженості електричного поля забезпечує електричний перетворювач 4. Під час ініціювання детонації в РК за шаром продуктів згоряння за детонаційною хвилею (ДВ) тече електричний струм. Виникає додатковий приплив енергії до газу. Після виходу ДВ із РК 1, електричний струм тече від анода-електрода 2 до поверхні напилюваного виробу (катода) по плазмовому струменю (ПС) та напилюваному матеріалу, який подається транспортувальним газом через трубку 5.

Під час проходження електричного струму виникають сили пондеромоторів, які стягують плазму до осі РК, що збільшує щільність її енергії та знижує ерозію стінок РК. Високоенергетичний струмінь газу формує на поверхні виробу ударно-стислий шар (УСС), що забезпечує термоактивацію. Проходження електричного струму ПС викликає додаткове нагрівання порошкового матеріалу і поверхні.

За імпульсно-плазмового оброблення (ІПО) поверхня сприймає комплексний вплив, а саме: ударний, електромагнітний, термічний, оборотні мартенситні перетворення. Кожна з них окремо грає роль ініціатора дифузійних процесів, що різко прискорює масоперенесення та здійснює на поверхневий шар виробу термохімічний вплив, стимулюючи перебіг хімічних реакцій.

Оброблення поверхні виробу імпульсною плазмою, що містить легувальні елементи, забезпечує легування поверхні складовими плазми та її зміцнення. Введення легувальних елементів у плазму здійснюється у вигляді продуктів ерозії металевого електрода (стрижня) та у вигляді газу (пропан, азот).

Під час модифікування поверхні підвищується: втомна міцність (до 40 %), корозійна стійкість (до 200 %), зносостійкість (до 1000 %) та теплостійкість (до 200 %).

Імпульсно-плазмові модифікування забезпечує можливість вести безконтактне оброблення поверхні рельєфу і може бути використане для оброблення виробів, що мають складну конфігурацію та виготовлені з різних сплавів. Наприклад, оброблення сплаву на основі титану дозволяє отримати модифікований шар, який має товщину до 60 мкм, та твердість до 9 ГПа. На поверхні виробів з вуглецевих сплавів на основі заліза можна отримати шар завтовшки до 100 мкм і твердістю до 20 ГПа. На поверхні виробів із чавунів чи заліза можна отримати шар твердістю 9 – 14 ГПа.

Використання вуглеводневих газів, які утворюють плазму, дозволяє створити вуглецеві імпульсні потоки плазми. Пари вуглецю конденсуються на поверхні зразка. Після 20 імпульсів оброблення на поверхні була отримана вуглецева плівка товщиною до 20 мкм. Рентгенографічний аналіз показав, що ця плівка складається з вуглецю, переважно аморфного.

Імпульсно-плазмові обладнання дозволяє наносити покриття з порошків чи електродів.

Найбільша твердість зміцненого шару на зразках зі сталі У8, що попередньо пройшли загартування та високу відпустку, була досягнута за використання електродів з вольфраму та молібдену (рис. 4.9).

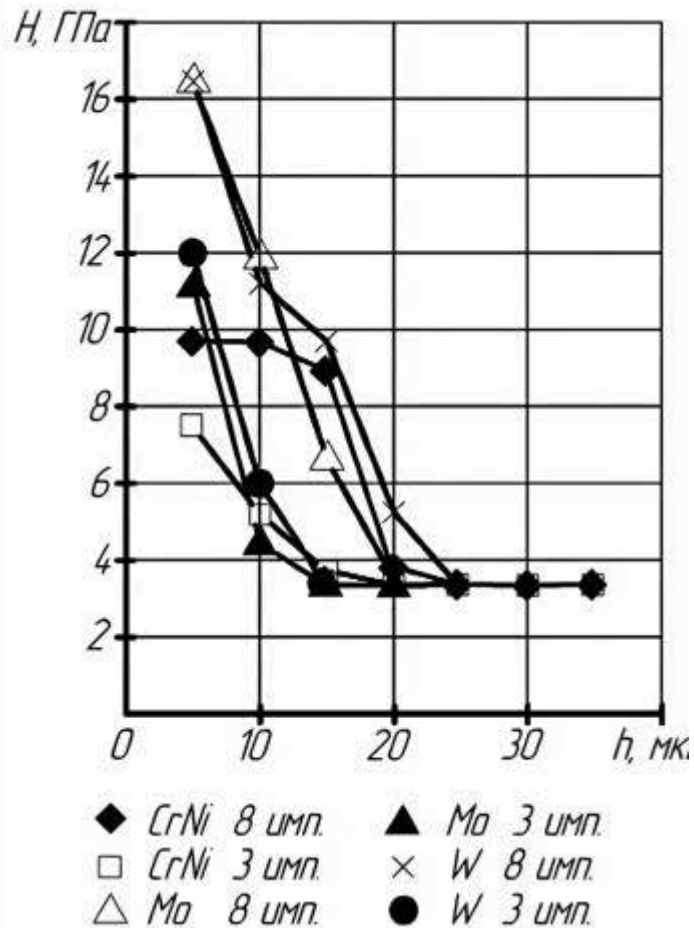


Рис. 4.9. Зміна твердості модифікованого шару залежно від кількості імпульсів та введення в плазму металів

Під час нанесення покриття з порошку $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ витрата компонентів горючої суміші становить $2 \text{ м}^3/\text{год}$ за частоти ініціювання детонації 4 Гц. Витрата електричної енергії за кожен плазмовий імпульс становить 500...3500 Дж. Довжина порошкового струменя, обмежена циліндричним стволем, становить 0,350 м, а дистанція – 0,040 м, діаметр плями покриття, нанесеної за 1 імпульс, становить 0,033 м.

Покриття має товщину до 0,8 мм і містить до 8 % γ -фази Al_2O_3 , аморфні фази та інше α -фазу. Мікротвердість шару складає 9000 - 13000 Н / мм^2 .

Під час напилення твердого сплаву (WC 98 %, CO 12 %) формується щільне покриття товщиною 0,1 - 1,0 мм та твердістю 8000 - 12800 Н / мм^2 .

Покриття мають високу зчіплюваність із підкладкою. Дослідження показали, що зчеплення покриття з порошку Al_2O_3 з підкладкою зі сплаву на основі титану (BT-23) становить 30 – 50 МПа, зі сталеву підкладкою – 30 – 60 МПа, з підкладкою зі сплаву на основі алюмінію – 25 – 35 МПа. Зчеплення покриття з порошку

твердого сплаву (WC 98 %, CO 12 %) з мідною підкладкою становить 200 – 250 МПа.

Продуктивність установки за нанесення покриття з Al_2O_3 становить 6 – 8 кг / год, а за нанесення покриття з порошоків на основі металів – 8 – 10 кг / год при встановленій потужності установки 15 Квт. Подача компонентів горючої суміші та порошкового матеріалу в плазмотрон здійснюється безперервно, що здешевлює технології нанесення покриттів та технологічні пристрої.

Імпульсно-плазмова установка змонтована на базі горизонтально фрезерного верстата 1 (рис. 4.10) та використовується для зміцнення інструменту та нанесення високоякісних покриттів із металів, твердих сплавів та оксиду алюмінію на деталі машин. Замість вертикального шпинделя верстата закріплена траверса з імпульсним плазмотроном 2 та малогабаритною детонаційною гарматою 3. Установка оснащена стандартним порошковим живильником 4. До реакційної камери плазмотрона приєднаний циліндричний стовбур 5, який призначений для обмеження газопорошкового струменя при його прискоренні та нагріванні. Порошок вводиться через штуцер 6 у бічній стінці циліндричного стовбура. Виріб 7, що модифікується (напилюється), закріплюється на столі фрезерного верстата.

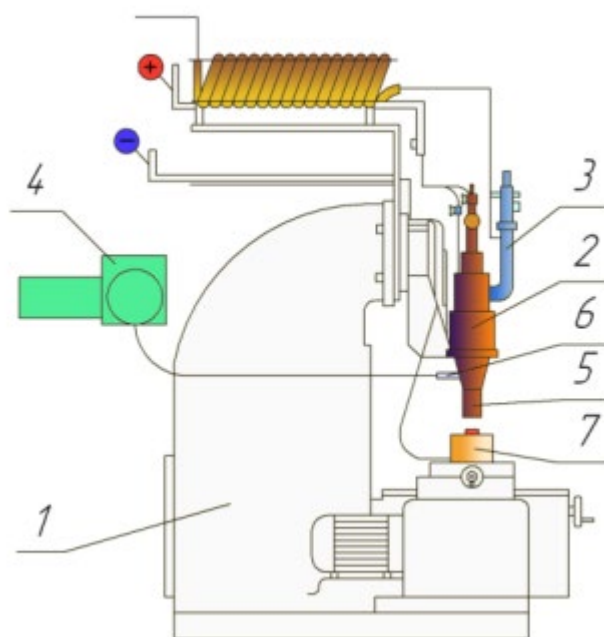


Рис. 4.10. Універсальна імпульсно-плазмова установка

Досвід промислової експлуатації показав, що ресурс зміцненого інструменту підвищується в 3 - 5 разів.

4.3 Електролітно-плазмове зміцнювання

Технологія електролітно-плазмового зміцнення (ЕПЗ) поверхні великогабаритних виробів розроблено в Інституті електрозварювання ім. О. Є. Патона НАН України.

Електролітно-плазмове зміцнення здійснюється нагріванням ділянок поверхні виробу електричними розрядами через плазмовий шар. Плазмовий шар формується з матеріалу електроліту на водній основі у зазорі між рідким (електролітним) електродом та поверхнею виробу.

Нагрівач містить металевий анод з характерним розміром D_a та наскрізними отворами для протікання електроліту до поверхні виробу катода (рис. 4.11). Електроліт у нагрівачі обжимається діелектричними стінками на відстані H до діаметра вихідного сопла D_k . Швидкість електроліту збільшується пропорційно відношенню площі отворів в аноді та площі сопла.

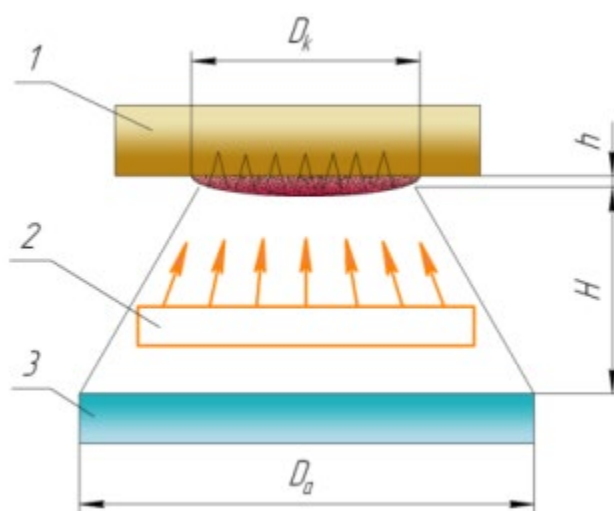


Рис. 4.11. Схема електролітно-плазмового нагрівача

Основні витрати енергії йдуть на випаровування та нагрівання електроліту (формування плазмового шару) та нагрівання поверхні виробу електричними

розрядами. Вартість обладнання для ЕПЗ нижча, ніж обладнання для загартування ТВЧ в 5 - 10 разів за однієї і тієї ж продуктивності зміцнення поверхні.

Зміцнення досягається внаслідок утворення на поверхнях, що зношуються, твердих включень, які забезпечують підвищений опір абразивному зношуванню і руйнуванню під час знакозмінних динамічних навантажень (рис. 4.12). Тверді включення, що формуються на поверхні виробу товщиною 2 – 10 мм, запобігають абразивному зношуванню, а не зміцнені проміжки поміж ними служать для релаксації напруги.

Технологія рекомендується для зміцнення шийок валів, наприклад, корінних та шатунних шийок колінчастого валу та поверхонь бурових труб.

Після електролітно-плазмового зміцнення, робоча поверхня – шийка валу – має тверді включення у вигляді опуклих прямокутних лінз, які періодично чергуються з м'якими плоскими западинами.

Під час передачі навантаження на вал його поверхня нагрівається нерівномірно, завдяки наявності теплового бар'єра по межі твердості. Це призводить до розширення матеріалу твердої лінзи та його випинання. Навантаження сприймають опуклі ділянки поверхні вала, які більш тверді та зносостійкі. Між опуклостями сформовані западини, які в залежності від режимів навантаження можуть мати глибину до 30 мкм за ширини 10 – 20 мм. Ці западини містять оливу, а стінки западин є гідродинамічними клинами.

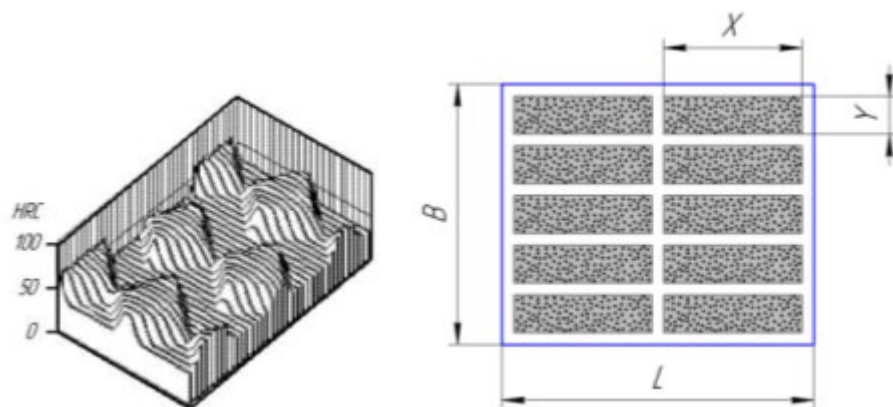


Рис. 4.12. Діаграма розподілу твердості та розміщення локальних твердих ділянок на поверхні циліндричного виробу після ЕПЗ: B – довжина розгортки; X та Y – характерні розміри загартованих ділянок поверхні

У процесі переміщенні поверхні валу відносно деталі (вкладиша), на поверхні мікроклінів виникає гідродинамічна підймальна сила, пропорційна швидкості ковзання та кута підймання клину. Сумарна підймальна сила всіх мікро клинів навіть за низьких швидкостей більше фізичного навантаження на вал, що гарантує утворення мастильного шару та беззношуваний режим роботи валу (рис. 4.13).

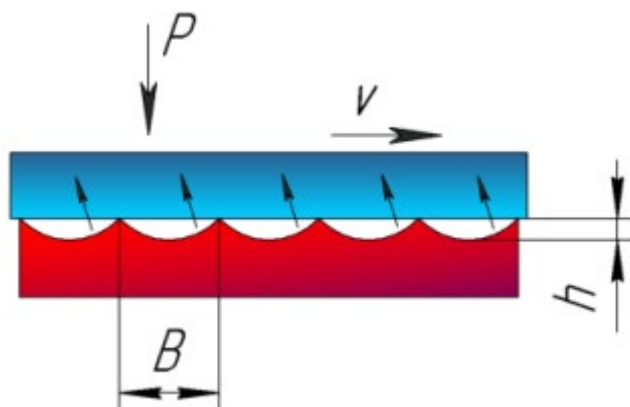


Рис. 4.13. Принципова схема рельєфу нерівностей, що утворюється після зміцнення

Запропонована конструкція поверхні шийок валів має наступні переваги:

- 1) гнучкість передачі функціонального навантаження на поверхню вкладиша;
- 2) демпфування вібраційних навантажень;
- 3) забезпечення рідинного тертя навіть за невеликих швидкостей переміщення;
- 4) виключення розриву розділової рідинної плівки і безпосереднього контактування поверхонь, що з'являється за імпульсних навантажень;
- 5) збільшення фактичної площі контакту та внаслідок цього тепловідведення.

Під час електролітно-плазмовому зміцненні поверхні виробу зі сталі 40 на ній утворюється система твердих ділянок твердістю до HRC 55. Ділянки можуть мати форму кола, квадрата чи овалу. Система твердих включень (рис. 4.12) забезпечує гідродинамічне тертя, сприймає зношувальні навантаження і забезпечує стискальні напруги в поверхневому шарі. Завдяки стискальній нарузі, допустиме навантаження на виріб зі сталі 45 підвищується на 30 – 40 %. Заокруглений рельєф поверхні знижує втрати на тертя в 1,5 - 2 рази.

М'які ділянки поверхні забезпечують релаксацію напруги, що утворюється за експлуатації. Проміжки між загартованими ділянками мають низьку твердість, що підвищує міцність виробу.

Змінюючи режими зміцнювального оброблення, можна отримати на поверхні загартовані шари завтовшки 0,5, 1,5, 4, 6, 7, 8 і 9 мм (рис. 4.14). Під час нагрівання протягом 30 с товщина загартованого шару становить 4 мм на ділянці довжиною 7 – 9 мм. Як електроліт використовують 13 %-ий водний розчин карбонату натрію. Максимальна твердість поверхневого шару (900 кг / мм^2) практично не залежить від товщини зміцненого шару.

Твердість зміцненого шару виробу зі збільшенням його товщини плавно зменшується від максимальної (900 кг/мм^2) до твердості основи ($250 - 300 \text{ кг / мм}^2$) і, як правило, не залежить від часу нагрівання.

Технологія ЕПЗ використана для зміцнення колінчастого валу та бурильної труби. Залежно від технологічних вимог та розмірів виробу електролітний нагрівач повинен забезпечувати поверхневе нагрівання і загартування у вигляді прямокутника з характерними розмірами, рівними 20 і 50 мм. Під час нагрівання до температури фазових перетворень, витримці 5 – 15 с, охолодженні електролітом на поверхні виробу утворюються тверді включення у вигляді опуклих прямокутних лінз 20 x 50 мм, максимальна глибина включення твердої лінзи у поверхню – до 10 мм.

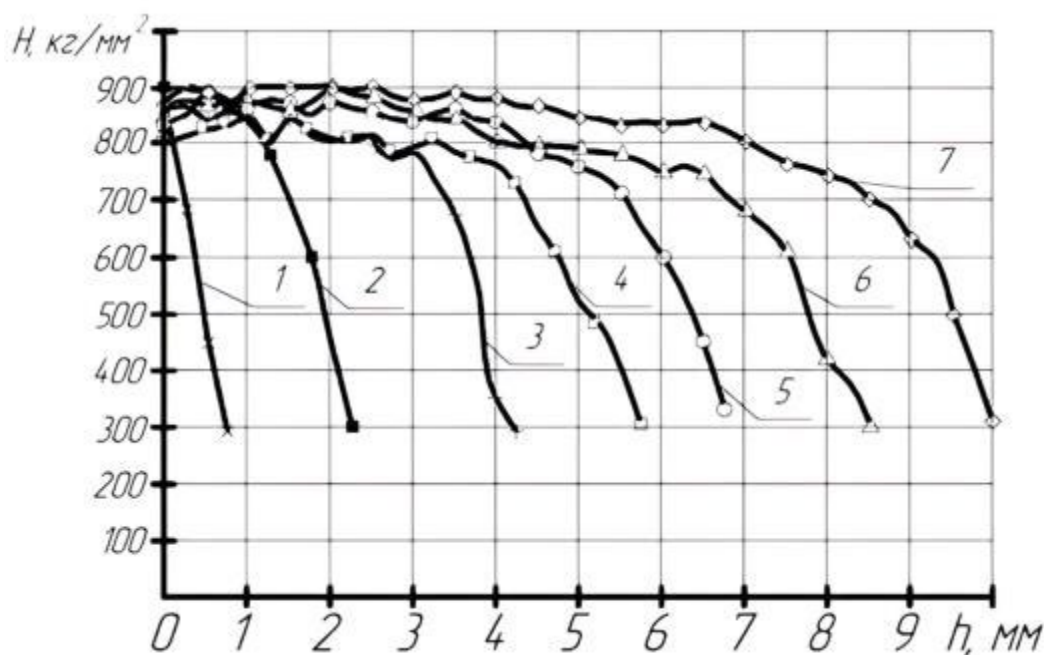


Рис. 4.14. Твердість загартованого шару, що знаходиться на поверхні сплаву залізовуглецю залежно від товщини зміцненого шару за напруги електричного

потенціалу $U_n = 200 \text{ В}$, час нагрівання t : 1 – 5 с; 2 – 15 с; 3 – 30 с; 4 – 40 с; 5 – 50 с; 6 – 60 с; 7 – 70 с

Для оброблення виробів виготовлено установку ЕПЗ (рис. 4.15), яка складається зі спеціалізованих навісних нагрівачів 2, пульта управління 3, джерела електричного живлення 4, бака 6 з насосною станцією 5 та обертача 7, у якому фіксується циліндрична деталь 1.

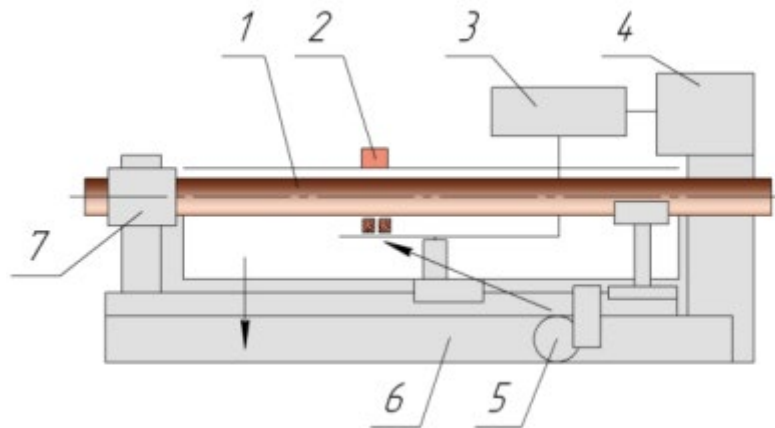


Рис. 4.15. Схема установки для електролітно-плазмового зміцнювального оброблення циліндричних виробів типу колінчастий вал (бурова штанга):

1 – деталь, 2 – навісні нагрівачі, 3 – пульт управління, 4 – джерело електричного живлення, 5 – насосна станція, 6 – бак для електроліту, 7 – обертач

Виріб фіксують у маніпуляторі 7, нагрівач 2 встановлюють на зміцнювану поверхню деталі 1 і за команди з пульта управління 3 здійснюють його періодичне нагрівання та охолодження. У процесі періодичного повторення технології «нагрівання – охолодження – поворот» на поверхні виробу формується система жорстких включень у вигляді прямокутних лінз.

На рис. 4.16 наведено вигляд навісного пристрою для ЕПЗ зовнішньої поверхні бурової штанги (замка, муфти). Система жорстких (до HRC 60) включень у зношуваній поверхні труби бурової штанги забезпечує підвищення зносостійкості поверхні та міцності.



Рис. 4.16. Навісний пристрій для зміцнювального оброблення циліндричних деталей

Промислові випробування, проведені в Інгулецькому ГЗК (м. Кривий Ріг) показали, що довговічність бурових штанг верстата СБШ-250 МНА зросла в 2 - 3 рази. Продуктивність технології ЕПЗ бурових штанг становить до 5 м погонних труб за годину за встановленої потужності перетворювача електричної енергії 40 кВт.

ЕПЗ забезпечує швидкість нагрівання та охолодження поверхні виробу в діапазоні 10 – 500 °С / с, і термоциклічне оброблення (загартування) локальних ділянок поверхні виробів на глибину від 0,3 до 10 мм. Твердість ділянок поверхні на сталі з вмістом вуглецю до 50 % підвищується до 900 кг / мм².

Устаткування для ЕПЗ комплектується із стандартних маніпуляторів (обертачів) та перетворювачів електричної енергії, а нестандартне обладнання (нагрівачі та пульт управління) виготовляють навісним, знімним та переносним. Досвід промислового використання та обладнання підтвердили високу ефективність ЕПЗ.

Технологія ЕПЗ є перспективною для зміцнення та підвищення довговічності шийок опорних валків робочих клітей прокатних станів, що працюють у поєднанні з підшипниками ковзання.

4.4. Мікродугове оксидування

В останні роки вченими проводиться багато досліджень у галузі розвитку методу мікродугового оксидування (МДО), що є різновидом методу плазмової електролітичного анодного оброблення (оксидування). Мікродугове оксидування – екологічно чиста технологія електроплазмохімічного перетворення поверхневого шару деталей з алюмінієвих сплавів у високотемпературні модифікації оксидів алюмінію α - і γ -фаз.

МДО дозволяє створювати на поверхні виробу керамічні багатofункціональні покриття, що відрізняються високою зносостійкістю та міцністю зчеплення, теплостійкістю та стійкістю до агресивних впливів середовищ. Простота технологічного обладнання, екологічно чисті електроліти, відсутність спеціальних вимог щодо підготовки поверхні перед нанесенням покриттів визначають перспективність методу МДО для машинобудування, а також відновлення та зміцнення зношених деталей.

Технологічне обладнання (рис. 4.17) для нанесення МДО-покриттів складається з джерела технологічного струму ИТТ 6 та технологічної ванни 1, сполученою з місткістю 5 для охолодження електроліту і змішувиком 4, сполученими шлангами 3. Насос 2 служить для перекачування електроліту з однієї ванни в іншу. Деталь 7 поміщають в електроліт і закріплюють на струмопідвідній шині.

Під час пропускання від ИТТ змінного струму поверхні оброблюваної деталі виникають мікродугові розряди. У каналах розрядів утворюється низькотемпературна плазма і відбуваються реакції, під час яких поверхневий шар деталі перетворюється на високотемпературні модифікації оксидів алюмінію α - і γ -фаз із включенням до нього компонентів електроліту. У локальній зоні утворення оксиду електричний опір зростає. Тому, коли шар покриття досягає певної товщини, мікродугові розряди переміщуються на сусідні ділянки, де електричний опір нижче. І так триває доти, доки сила струму не знижується до рівня, у якому процес окислення припиняється. В результаті отримують покриття, порівняні за зносостійкістю з карбідом вольфраму.

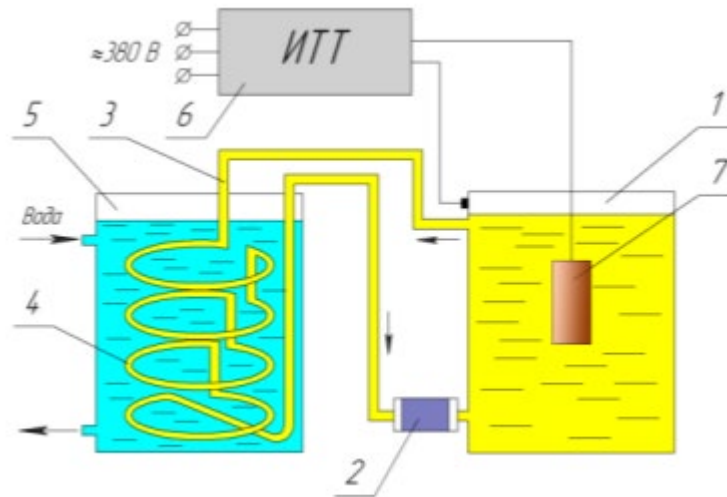


Рис. 4.17. Схема установки для мікродугового оксидування

На сьогодні розроблені технології відновлення та зміцнення деталей з алюмінієвих сплавів АК7ч ГОСТ 1583, АТ3-7 ГОСТ 14113, АД1 (1013), АМг2 (1520), Д16 (1160) за ГОСТ 4784, а також корозійностійкої сталі 12Х18Н10Т ГОСТ 5632.

На рис. 4.18 представлена загальна структурна схема технологій відновлення та зміцнення деталей із застосуванням МДО.

Деталі розбиті на групи за значенням зношування та для кожної групи розроблена технологія відновлення та зміцнення.

Деталі з алюмінієвих сплавів поділені на три групи:

- 1 група – деталі, зі зносом до 0,06 мм;
- 2 група – деталі, із зносом від 0,06 до 3,0 мм;
- 3 група – деталі, із зносом понад 3,0 мм.

Для деталей першої групи рекомендується технологія відновлення та зміцнення деталей МДО, яка передбачає підготовче оброблення (очищення та дефектування деталей, попереднє механічне оброблення, знежирення, ізолювання місць, що не підлягають нарощуванню та монтаж деталей на підвіску), нарощування (МДО) та оброблення деталей після нарощування (демонтаж з підвіски, зняття ізоляції, промивання водою, сушіння та контролювання покриттів, фінішне механічне оброблення покриттів та контролювання). Для нарощування деталей з АК7ч і АО3-7 використовують електроліт складу № 1, що містить КОН - 1,8 - 2,1 г/л, Na_2SiO_3 – 14 - 18 г/л. Щільність струму становить 25 - 30 А/дм². Тривалість

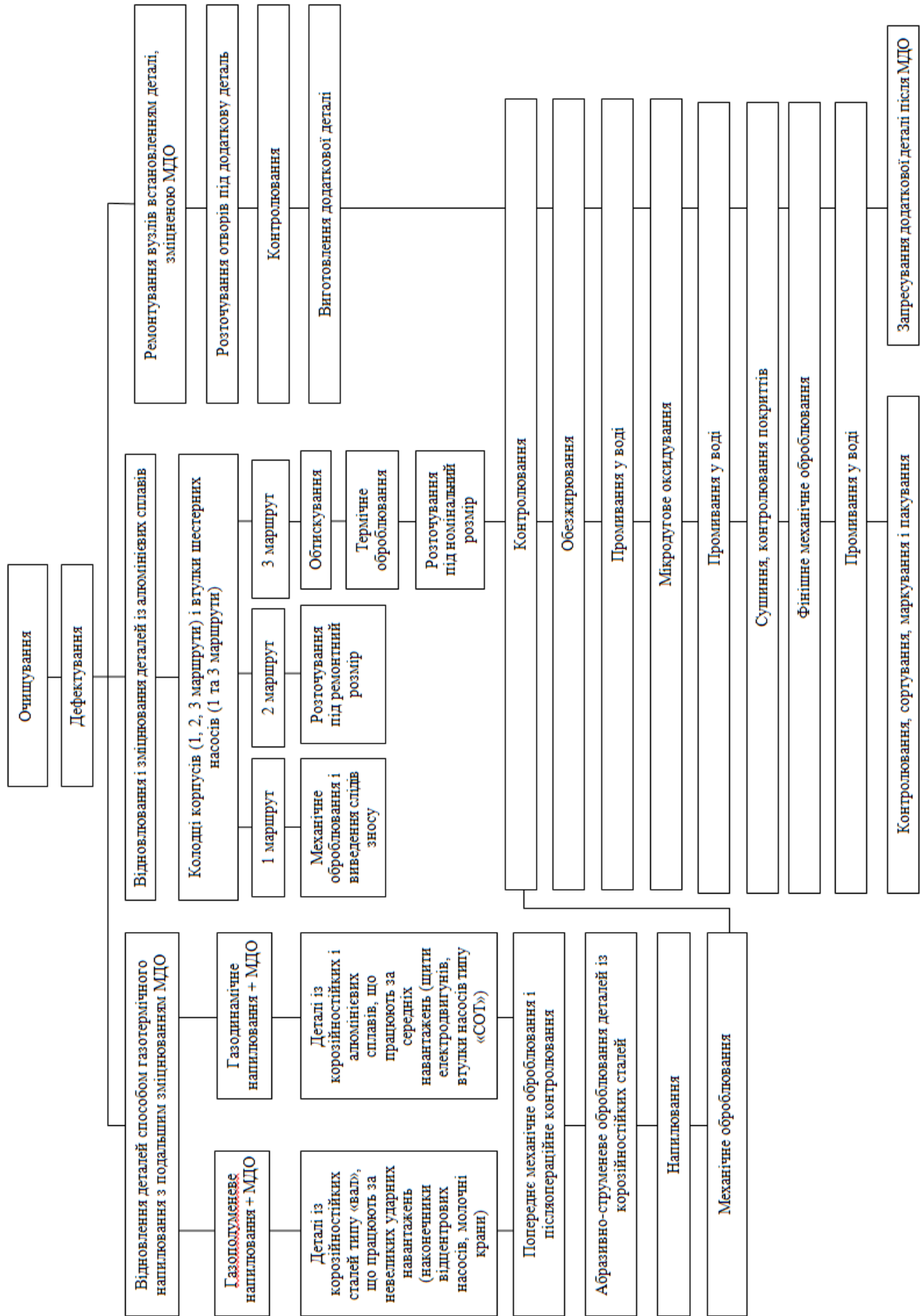


Рис. 4.18. Загальна структурна схема технологій відновлення та зміцнення деталей із застосуванням МДО

оброблення 100 – 110 хв. Товщина покриття сягає 0,115 мм, а мікротвердість – 8 ГПа.

Деталі другої групи рекомендується відновлювати трьома комбінованими технологіями: розточуванням під ремонтний розмір з подальшим зміцненням МДО, пластичним деформуванням з наступним зміцненням МДО або надзвуковим газодинамічним напиленням (ГДН) з подальшим зміцненням МДО. У першій комбінованій технології використовують ті ж режими та електроліт складу № 1, зазначені у попередній технології.

Для зміцнення деформованих сплавів у другій комбінованій технології рекомендується електроліт складу № 2, який включає КОН – 4 - 6 г/л, НЗВОЗ – 20 - 25 г/л, крохмаль – 6 - 12 г/л. Додавання крохмалю підвищує працездатність електроліту до 2 разів. Зміцнення МДО здійснюють за температури електроліту 20 - 40 °С, щільності струму 15 - 20 А/м² та тривалості оброблення 100 - 120 хв. Товщина зміцненого шару досягає 0,15 мм, а мікротвердість – 19 ДПА.

Надзвукове ГДН виробляють за тиску повітря 0,7 МПа, температурі 400 °С та довжині напилення 10 - 15 мм. Для напилення використовують порошок на основі алюмінію А-80-13, фракцією 30-50 мкм. Оброблення МДО здійснюють за щільності струму 18 - 22 А/дм² із тривалістю оксидування 100 - 120 хв. До електроліту складу № 3 входять КОН – 2,9 - 3,6 г/л, Na₂SiO₃ – 4 - 6 г/л. Товщина зміцненого шару досягає 0,135 мм, а мікротвердість – 16 ГПа.

Для деталей третьої групи рекомендується додаткова постановка ремонтної деталі з алюмінію, зміцненої МДО. Для зміцнення використовують електроліт складу №1.

Швидкість зношування покриттів, отриманих МДО на алюмінієвих сплавах і напилених поверхнях, в 4 - 6 разів нижча за швидкість зношування незміцнених деталей.

Деталі з корозійностійких сталей також поділені на три групи:

1 група – деталі, що працюють за невеликих контактних навантажень, зносом до 0,6 мм;

2 група – деталі, що працюють при невеликих та середніх контактних навантаженнях, зі зносом від 0,6 до 3,0 мм;

3 група – деталі, зі зносом понад 3,0 мм.

Для деталей першої групи рекомендується комбінована технологія відновлення та зміцнення – газополум'яне напилення (ГПН) з наступним зміцненням МДО. Напилення здійснюють порошковими газополум'яними пальниками фірми «ТЕРМІКА»: «Іскра-1» та «Іскра-1В». Спочатку напилюють підшар порошком ПТ-Ю5Н товщиною 0,1 - 0,2 мм, потім основний шар – з алюмінієвого порошку САС завтовшки 0,15 - 0,3 мм.

Зчіплюваність основного напиленого шару залежить від фракції порошку і шорсткості підшару (рис. 4.19 та рис. 4.20). Як видно із рис. 4.19 та 4.20 оптимальні фракції порошку D лежать в діапазоні 60 - 100 мкм, а шорсткість поверхні підшару R_z – 60 - 120 мкм. Зміцнення МДО проводять із застосуванням електроліту складу № 2, водночас товщина зміцненого шару досягає 0,125 мм, а мікротвердість – 11 ДПА.

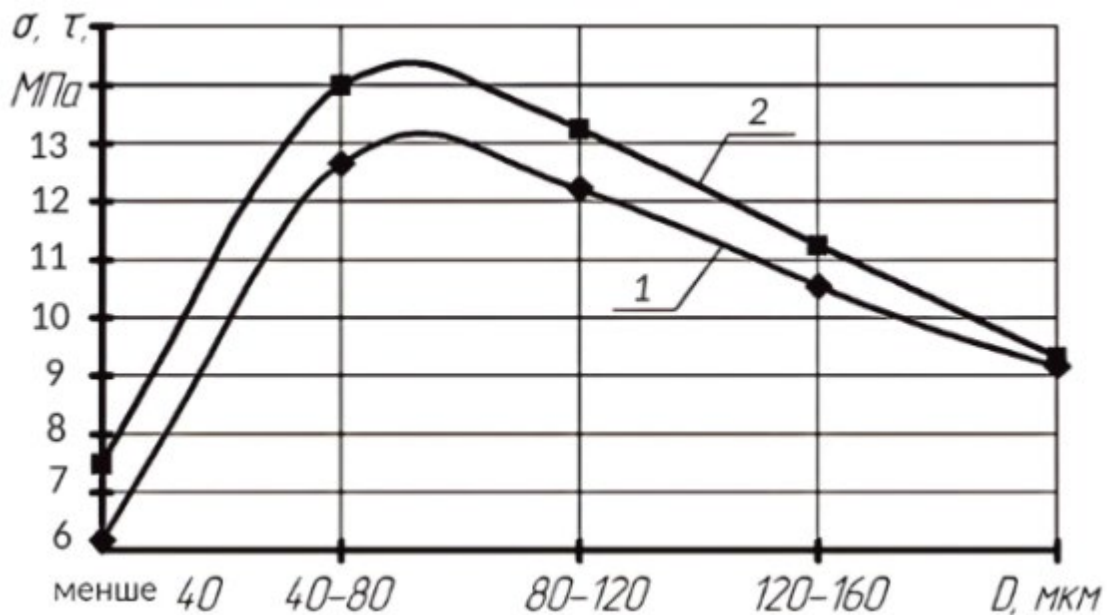


Рис. 4.19. Вплив фракції алюмінієвого порошку на зчеплення алюмінію САС-2 з підшаром ПТ-Ю5Н: 1 – за відривання; 2 – за зрушення

Деталі другої групи рекомендується відновлювати комбінованою технологією – надзвуковим газодинамічним напиленням (ГДН) з наступним зміцненням МДО. Режими ГДН та МДО ті ж, що й під час відновлення алюмінієвих деталей другої групи.

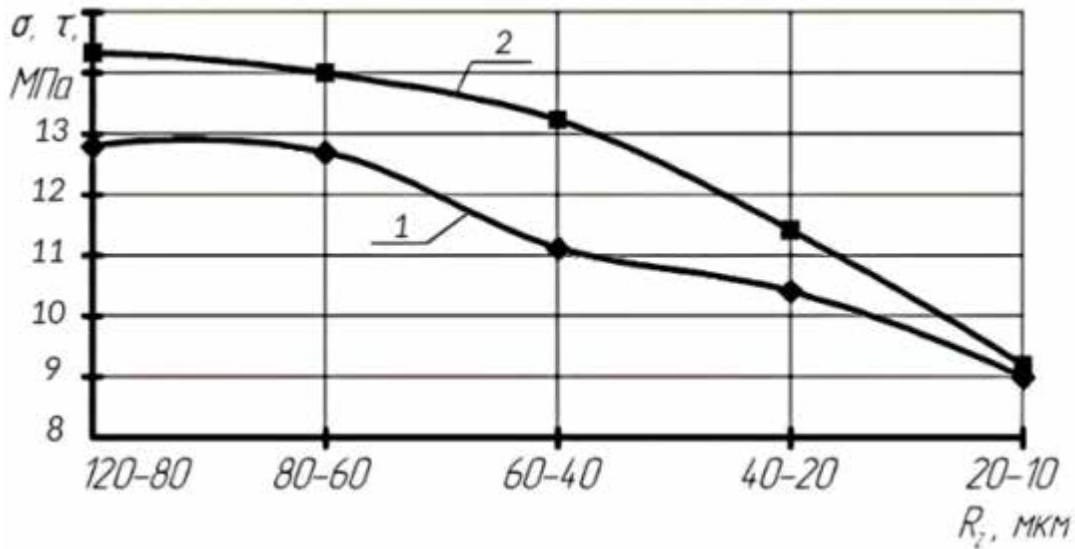


Рис. 4.20. Вплив шорсткості підшару ПТ-Ю5Н на зчеплюваність з алюмінієм САС-2: 1 – за відривання; 2 – за зрушення

Для деталей третьої групи рекомендується встановлення алюмінієвої додаткової ремонтної деталі, зміцненої МДО. Для зміцнення використовують електроліт складу №1. Корозійна стійкість покриттів з обробкою МДО підвищується в 1,4 - 1,6 раза, а зносостійкість – до 5 разів в порівнянні з аналогічними характеристиками сталі 12Х18Н10Т.

Досвід відновлення шестеренних насосів НШ-32У-3 та НШ-10Е, насосів 50-3Ц7,1-20, поршнів гідромумфи КП трактора «Fendt Favorit 824», валів станда СПО-35-89 для укладання металокорду автотракторних шин показав високу ефективність розроблених технологій.

Тепер найбільшого поширення в ремонтному виробництві набув ванний спосіб формування МДО-покриттів. Під час відновлення даним способом великогабаритних деталей виникає необхідність у значному збільшенні габаритних розмірів ванн, суттєво підвищуються витрати на приготування, контролювання та коригування електроліту, якого у цьому випадку потрібно значно більше. Зважаючи на те, що, як правило, відновлюють не всю деталь, а лише зношені поверхні, значно збільшується площа поверхні, що підлягає ізоляції. З вищевказаних причин значно збільшується собівартість відновлення.

У цьому відновленні великогабаритних деталей МДО перспективним вбачається проточне оксидування. Сутність методу полягає в тому, що за

допомогою нескладних пристроїв поверхні, що відновлюються, стають стінками електролітичної комірки, через яку лугостійким насосом прокачується електроліт. Водночас можливе локальне відновлення та зміцнення поверхонь деталей практично будь-яких габаритних розмірів, що відрізняється в порівнянні з ванним способом, суттєвим зниженням витрати електроенергії. Завдяки інтенсивному оновленню електроліту та видалення газоподібних продуктів з анодно-катодного простору досягається більш оптимальна структура МДО-покривів та зниження в них залишкової напруги.

Розроблена конструкція установки для проточного МДО внутрішніх циліндричних поверхонь нероз'ємних підшипників ковзання з охолодженням електроліту, принципова схема якої зображено на рис. 4.21.

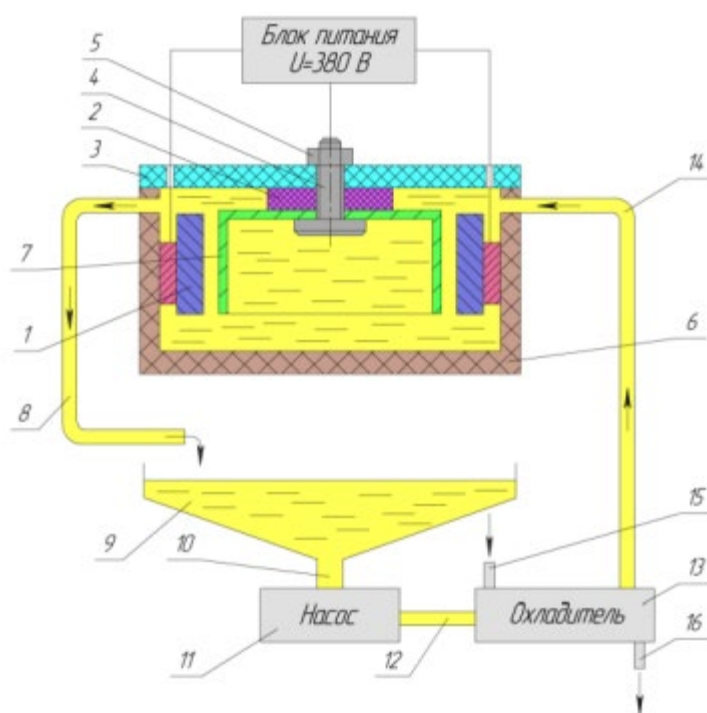


Рис. 4.21. Установка для проточного МДО деталей із охолодженням електроліту **переробити**

Під час її роботи лугостійкий насос 11 закачує електроліт з бака 9, нагнітає його через трубопровід 12, охолоджувач 13 і підвідну трубу 14, внутрішню порожнину електролітичного осередку 6. В останній встановлена окисдована деталь 1 і електрод 7 у формі циліндра з нержавіючої сталі, який через кільце 2 кріпиться до пластини 3 за допомогою болта 4 і гайки 5. Водночас через вхідний патрубок 15,

секцію охолодження охолоджувача 13 подається охолодний реагент, який після заповнення секції відводиться через вихідний патрубок 16. Коли окисована деталь 1 повністю покривається електролітом, останній через відповідну трубу 8 надходить у бак 9 і одночасно вмикається блок живлення.

Чим вище щільність струму, тим інтенсивніше протікає процес. Однак зі зростанням струму, що протікає через електроліт, останній сильно нагрівається. Відбувається його часткове випаровування, перегрівання ізоляції струмопроводів і підвіски й у певний час зростання зміцненого шару покриття починає сповільнюватися. Це пов'язано з тим, що за високої температури електроліт починає частково розчиняти МДО-покриття, яке формується, що призводить до зменшення його товщини і утворення додаткової пористості.

Крім цього, знижується пасивація окисованої поверхні, через що, електричний пробій відбувається за менших значень напруги і це, своєю чергою, є причиною зменшення вмісту в зміцненому шарі високотемпературної зміцнювальної фази $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. Тому для здійснення процесу за високої щільності струму необхідне охолодження електроліту. Найбільш ефективним методом охолодження деталі, на поверхні котрої формується МДО-покриття, є метод внутрішнього охолодження. Однак його реалізація відрізняється складністю, оскільки крім пропускання через деталь електричного струму, необхідно здійснити подавання і відведення реагенту, що охолоджує, який повинен циркулювати всередині деталі і не змішуватися з електролітом під час оксидування.

Існує простіший метод охолодження деталі – метод зовнішнього охолодження. Під час його застосування деталь охолоджується безпосередньо електролітом, який повинен мати постійну температуру, що змінюється в незначних межах. Для цього в контур циркулювання проточної установки вбудовують охолоджувач, в якому електроліт віддає своє тепло реагенту, що охолоджує (холодній воді, фреону або хладону R134A).

Завдяки безперервному охолодженню електроліту за його проточного циркулювання системою прокачування установки, температура електроліту підтримується в інтервалі 8 - 10 °С, тому формування МДО-покриттів можна

здійснювати за вищої щільності струму, що збільшує їх товщину та покращує фізико-механічні властивості (табл. 4.2).

Таблиця. 4.2

Властивості покриттів, отриманих за проточного МДО

Показник	Значення	
	без охолодження електроліту	з охолодженням електроліту
Товщина покриття, мкм:	<i>100</i>	<i>130</i>
зміцнений шар	<i>70</i>	<i>115</i>
пухкий шар	<i>30</i>	<i>15</i>
Мікротвердість, ГПа	<i>9,6</i>	<i>11,0</i>
Пористість, %	<i>25-35</i>	<i>14-18</i>
Інтенсивність зношування, (г/год) $\times 10^{-3}$	<i>156</i>	<i>115</i>
Корозійна стійкість, %	<i>100</i>	<i>150</i>

Як видно з табл. 4.2, застосування проточного МДО деталей з охолодженням електроліту дозволяє до 50 % збільшити товщину і корозійну стійкість зміцненого шару МДО-покриття, і навіть на 15 % – його мікротвердість. Водночас пористість та інтенсивність зношування знижуються.

Найбільша продуктивність досягається тоді, коли під час окисдування створюється турбулентний режим течії електроліту, який досягається за швидкості потоку більш як 1 м/с.

Мікродугове окисдування в проточному електроліті має такі переваги:

1) інтенсивне перемішування електроліту та поповнення його новими збагаченими порціями призводить до покращення фізико-механічних властивостей та підвищення якості покриттів;

2) постійна подача свіжого електроліту та барботування стисненим повітрям зони горіння мікродугових розрядів призводить до ініціювання останніх, тим самим збільшується продуктивність окисдування;

3) зменшується насиченість покриття і матеріалу підкладки воднем, що виділяється за окисдування;

4) збільшується термін служби електроліту та, відповідно, інтервали часу між його замінами;

5) значно зменшується кількість електроліту, що використовується, що знижує собівартість відновлення;

б) процес формування зміцнювальних покриттів відрізняється високою стабільністю, що дозволяє рекомендувати спосіб у масовому виробництві для отримання покриттів із заданими властивостями.

Механізм формування покриттів способом МДО забезпечує наявність у них наскрізної пористості, яка визначає захисні властивості покриттів під час роботи у контакті з агресивними середовищами. При граничному терті у покриттях, сформованих МДО, за певних умов експлуатації може виявлятися збільшення фрикційних властивостей. Це призводить до того, що деталь з покриттям МДО викликає підвищене зношування деталі, що сполучається, діючи на неї як абразив.

Проблему підвищення корозійної стійкості покриттів МДО вирішено шляхом оптимізації режимів МДО, що забезпечують зниження наскрізної пористості покриття. Для підвищення зносостійкості робочих поверхонь деталей машин запропоновано наповнювати покриття, сформованим МДО, або наносити на нього мідний шар оригінальним фрикційно-механічним способом.

Натираюча мідна пластина 1 притискається із зусиллям F_n до покриття МДО 4 і переміщається щодо неї зі швидкістю $V_{ск}$ (рис. 4.22).

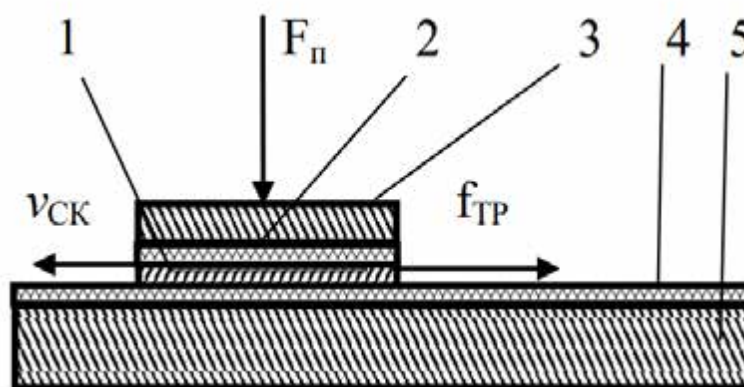


Рис. 4.22. Схема взаємодії пластины, що натирає, з покриттям, сформованим МДО, при фрикційно-механічному нанесенні мідного шару: 1 – натираюча пластина з міді; 2 – теплоізоляційне оксидне покриття, сформоване МДО; 3 – натисний елемент пристрою для натирання; 4 – покриття, сформоване МДО; 5 – деталь

Пластина з технічно чистої міді марки М2 закріплена на натисному елементі пристрою для натирання 4. Між ними розміщено оксидне покриття 2. Оскільки пластина контактує з обох сторін з керамічними (оксидними) покриттями вона має обмежене тепловідведення в навколишнє середовище. Тому під час руху пластини її температура підвищується до значення, за якого відбувається її рекристалізація та перенесення на поверхню покриття з утворенням суцільного мідного шару.

Дослідженнями встановлено оптимальні параметри МДО: концентрація компонентів електроліту, г/л: КОН-3, Na_2SiO_3 – 10, решта – дистильована вода; режими МДО: щільність струму – 20 А/дм², температура електроліту - 20°C, тривалість МДО - 2 години. Оптимізація складу електроліту та режимів МДО дозволила знизити наскрізну пористість покриттів 14 - 15 до 3 - 4%.

Визначено оптимальні режими фрикційно-механічного нанесення мідного шару на поверхню покриття, сформованого МДО: контактний тиск – 15МПа, швидкість ковзання – 0,5 м/с, товщина пластини, що натирає – 0,05 - 0,10 мм, тривалість нанесення – 230 - 240 с, мастило контактних поверхонь – технічний гліцерин, які дозволяють отримати мідний шар товщиною 4,0 - 4,5 мкм і шорсткістю $R_a = 0,63$ мкм.

На рис. 4.23. показані результати дослідження здатності навантаження різних варіантів виконання покриттів МДО. З рисунка видно, що наповнення **оливою** покриття МДО пористістю 14 - 15% збільшує здатність навантаження рухомого з'єднання «сталь – покриття» в 1,8 раза, а фрикційно-механічне нанесення на його поверхню мідного шару – у 2,8 раза. Подальші дослідження показали, що у разі наповнення оливою покриття МДО пористістю 14 - 15%, зносостійкість рухомого з'єднання «сталь – покриття» збільшується в 1,7 раза, а у разі нанесення на нього поверхні пористістю 3 - 4% мідного шару – в 4,5 раза.

В результаті узагальнення результатів досліджень розроблено комбіновані технології відновлення та зміцнення, які показані на рис. 4.24.

Комбіновані технології містять наплавлення, паяння, електродугову металізацію, обтиснення, виготовлення додаткової ремонтної або нової деталі з подальшим нанесенням керамічного покриття мікродуговим оксидуванням.

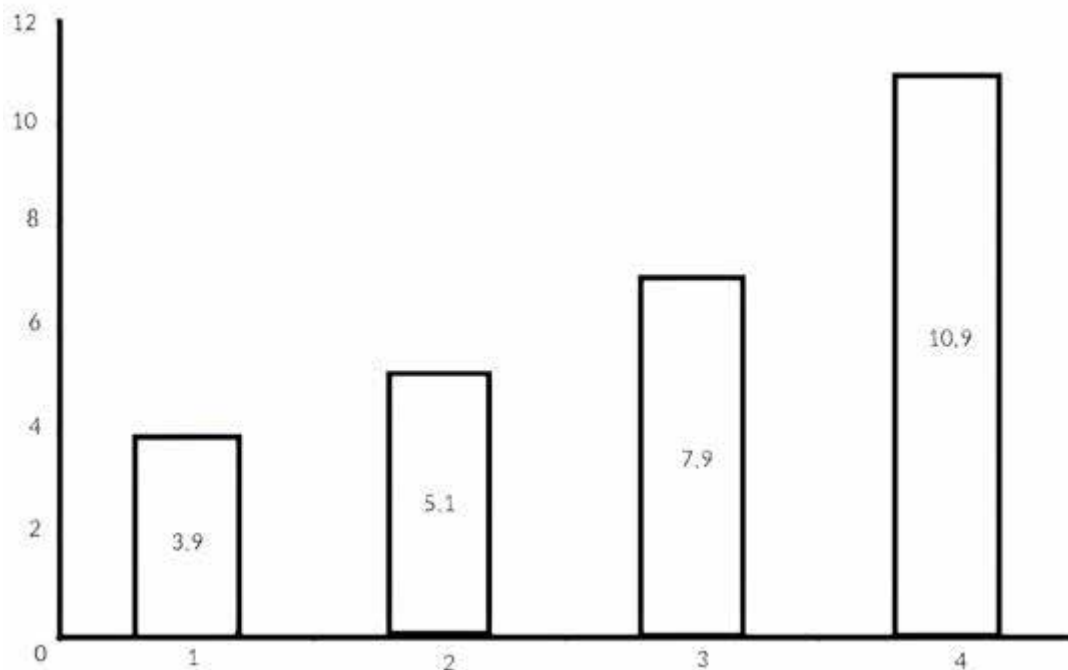


Рис. 4.23. Навантажувальна здатність для з'єднань «сталь – покриття», сформоване МДО: пористістю 3 - 4% (1), пористістю 14 - 15% (2), пористістю 14 - 15% наповнене оливою (3), пористістю 3 - 4% з мідним шаром (4)

Залежно від зносу, площі пошкодження, типорозміру та матеріалу деталей, а також наявності на конкретному підприємстві ремонтно-технологічного обладнання, відновлення або виготовлення нових (ремонтних) виробів рекомендується проводити за одним з маршрутів, представлених на рисунку. Товщина зміцненого шару після видалення технологічного становить: на деформованому сплаві Д16 – 150 мкм; на ливарних сплавах АК7ч і АК9ч, на ливарному АК7ч і спеціальному АОЗ-7 після обтиснення, на припої ПА12 та на зварювальних дротах СВАМг6, СВАК5, СВАК9М2 – 120 мкм, де наскрізна пористість складе трохи більш як 4%. Оптимальна шорсткість покриття з нанесенням мідного шару $Ra = 1,20 - 1,25$ мкм.

4.5. Зміцнювання відновлених деталей статико-імпульсним обробленням

Наплавленням відновлюють до 70% зношених деталей. Гострою проблемою водночас є виникнення в наплавленому поверхневому шарі розтягувальних залишкових напруг, які значно знижують довговічність шару під час дії на нього циклічних навантажень.

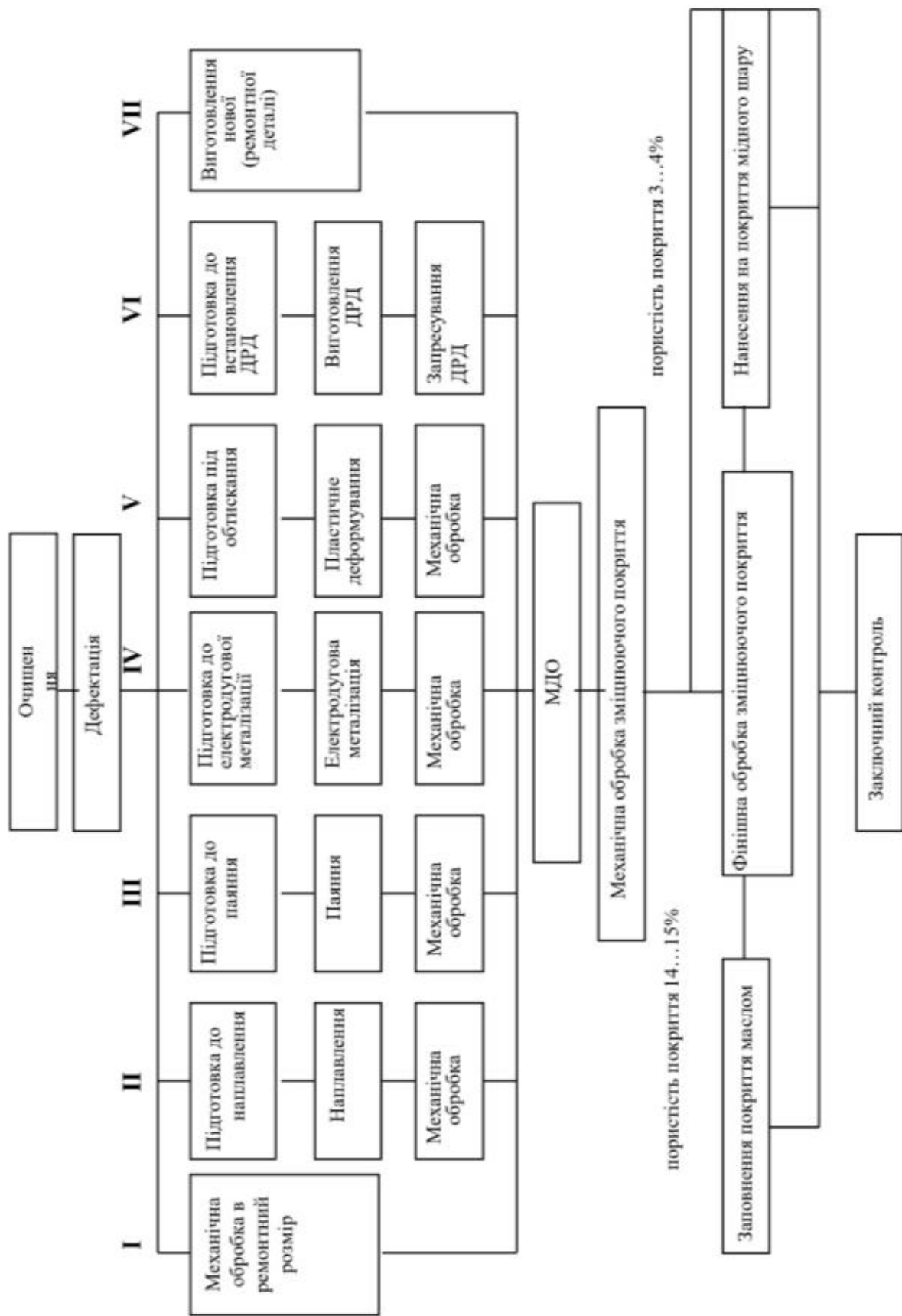


Рис. 4.24. Структурна схема комбінованих технологій відновлення зношених деталей і виготовлення нових (ремонтних) деталей зі зміцненням МДО для підвищення довговічності робочих поверхонь деталей машин

Одним зі способів зняття розтягувальних залишкових напруг і створення стискальних напруг у поверхневому шарі є зміцнення поверхневим пластичним деформуванням (ППД). Зміцнення ППД дозволяє також створити на поверхні наклепаний шар із високою твердістю та необхідною шорсткістю. Водночас зміцнений метал плавно переходить у незміцнений, що виключає його відшарування.

Найбільший ефект від деформаційного зміцнення спостерігається у циклічно навантажуваних деталях з конструктивними (жолобники, виточки, різьблення, зуби, шліци) або експлуатаційними (подряпини, надрізи) концентраторами напруг. За оптимальних режимів оброблення довговічність деталей під час перевантажень підвищується в десятки разів, а межа витривалості – у 1,5 - 3 рази.

Відомо, що в ряді випадків плямисто зміцнений шар (гетерогенна структура) має підвищену контактну витривалість і опір втоми, високу живучість за великої носійної здатності. Це відбувається внаслідок гальмування в'язким та пластичним матеріалом крихкої тріщини, що зародилася у твердій структурній складовій.

До цього часу гетерогенні шари вдавалося отримати лише методами хіміко-термічної обробки, комбінованої з іншими методами фізико-хімічного впливу. Для формування гетерогенних структур методи ППД раніше не використовувалися.

Існує ряд важконавантажених деталей машин, що відновлюються наплавленням, для яких необхідне створення зміцненого поверхневого шару з великою глибиною та ступенем зміцнення, наприклад, гребні вали морських суден, виготовлені зі сталі 25, сталі 35 та інших вуглецевих сталей. Діаметр валів, що піддаються ППД, становить 150 - 400 мм з довжиною поверхні для зміцнення 1000 - 2000 мм, водночас потрібна глибина зміцненого шару – 5 мм та більше. Також відновлюються у польових умовах безпосередньо на залізничному полотні без демонтажу сердечники хрестовин **стрілочних перекладів**, що виготовлені з марганцевої сталі 110Г13Л і мають розміри поверхні, яка наплавляється 400x40 мм із необхідною глибиною зміцненого шару 6 мм.

Для таких деталей розроблений новий спосіб зміцнення ППД – статико-імпульсне оброблення (СІО). Особливість СІО полягає у можливості навантажувати зміцнювану поверхню керованим імпульсним впливом, що дозволяє раціонально

використовувати енергію удару під час навантаження поверхні. Технологія зміцнення СЮ включає попереднє статичне з наступним періодичним імпульсним навантаженням інструменту. Застосування статичних методів ППД (наприклад, вигладжування або накочування за значних статичних навантажень до 250 кН), часто не є раціональним через велику енергомісткість, в той час, як аналогічний ефективний силовий вплив може бути отриманий за реалізації СЮ, але із меншими енергетичними витратами.

Для реалізації СЮ використовується спеціальний ударний пристрій, який характеризується компактністю і малою металомісткістю, що дозволяє монтувати його на різне металообробне обладнання, а також на пересувне ремонтне обладнання, що використовується, наприклад, для відновлення сердечників хрестовин **стрілочних перекладів** безпосередньо на залізниці.

Дослідженнями встановлено, що за СЮ максимальний ступінь зміцнення поверхні деталей зі сталі 110Г13Л досягає 150 %, зі сталі 45 – 60%, зі сталі 40Х – 20 %, зі сталі 9ХС – 20 %. Водночас глибина зміцненого шару становить, відповідно, 10, 7, 6, 4 мм за оптимальніших, ніж за статичних способів оброблення ППД, значення градієнта наклепування. Досяжна величина шорсткості за задовільної хвилястості становить $Ra = 1,6$ мкм.

Встановлено, що залежно від ступеня перекриття відбитків, отриманих під час застосування деформувального інструменту в заготовину під дією одиничних ударних імпульсів, можливе отримання як рівномірно, так і нерівномірно зміцненої поверхні. Необхідний ступінь перекриття досягається варіюванням частоти ударних імпульсів та швидкості подачі.

Статико-імпульсне оброблення дозволяє досягати значного ступеня (до 100 % і більше) та глибини (до 10 мм) зміцнення, забезпечуючи водночас плавний перехід від зміцненого шару до незміцненого. Керуючи технологічними параметрами СЮ можна створювати як рівномірно зміцнений, так і плямисто зміцнений поверхневий шар, що вигідно відрізняє СЮ від інших методів оброблення ППД.

Внутрішні різьби належать до категорії найпоширеніших і водночас відповідальних елементів деталей машин. Чинні нині способи формоутворення та

зміцнення внутрішніх різьб, через технологічні складності не належним чином забезпечують необхідний рівень статичної та втомної міцності.

Відомо, що підвищення статичної та втомної міцності різьблення може бути досягнуте обробкою пластичним деформуванням – накочуванням. Однак є ряд факторів, що обмежують сферу застосування даного методу за оброблення внутрішніх різьблень. Накочування внутрішніх різьблень можливе тільки для різьблення з відносно невеликим кроком у заготовинах із пластичних матеріалів. Глибина зміцнення при цьому становить не більш як 2 мм, що для низки випадків є недостатнім. Підвищити глибину зміцнення дозволяє статико-імпульсне оброблення.

Проведені дослідження показали, що глибина зміцненого шару за СІО може сягати 10 мм і більше у разі зміцнення поверхневого шару до 200 %. Це дозволяє забезпечити широкий діапазон показників якості різьблення, обробленого СІО. За потреби досягнення вищої твердості поверхневого шару СІО може здійснюватися на заготовинах, попередньо зміцнених термічним обробленням. Можливі кілька варіантів застосування СІО для формоутворення та зміцнення внутрішніх різьблень:

- 1) випереджувальне СІО поверхнево-пластичне деформування ППД **отвори дорнованням** або розкочуванням з подальшим нарізуванням різьблення;
- 2) формоутворювальна СІО (чорнова або остаточна) мітчиками або головками;
- 3) зміцнювальна СІО попередньо нарізаного різьблення мітчиками або головками (чорнова чи остаточна).

У всіх варіантах СІО може поєднуватися з лезовим обробленням мітчиками, різцями або різьбовими фрезами, термічним та хіміко-термічним обробленням, різьбошліфуванням, чистовим обробленням ППД (розкочуванням, вигладжуванням або дробоструменевим обробленням). Як остаточна операція рекомендується використання оздоблювально-зміцнювального оброблення ППД, оскільки воно забезпечує вищу якість поверхневого шару.

Спосіб статико-імпульсного формоутворення та зміцнення внутрішніх різьблень реалізується за допомогою механізму подачі верстата, із встановленим на ньому гідравлічним генератором механічних імпульсів (рис. 4.25). На нижній робочій частині генератора встановлений мітчик-хвильовик з рівномірно

розташованими в ньому різбовими деформувальними елементами 5, у кількості не менше трьох, які можуть переміщуватись щодо корпусу мітчика 14, і довжина яких дещо більша за висоту заготовки 11.

Різьбові деформувальні елементи зміщені один щодо іншого в поздовжньому напрямку на величину рівну P_u/n , де P_u - крок різби, що отримується, n - кількість різбових деформуючих елементів. Мітчик-хвильовик в неробочому стані із зовнішнім діаметром D_{min} за різбовими деформуючими елементами, меншими від внутрішнього діаметра отвору заготовки D_3 , вільно вводиться в отвір заготовки.

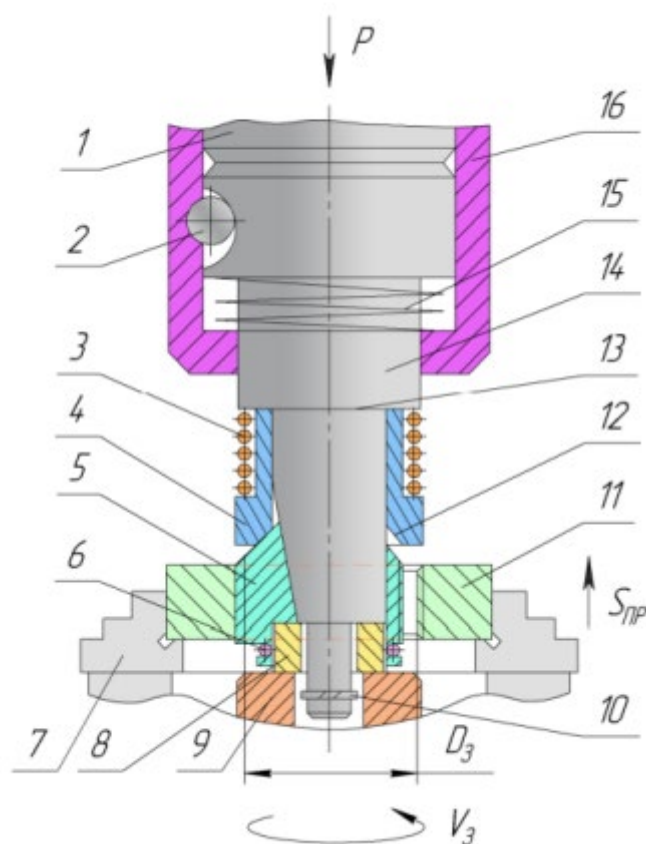


Рис. 4.25. Мітчик-хвильовик для статико-імпульсного формоутворення та зміцнення внутрішніх різьблень

Як тільки **наполегливе** кільце 8 стикається з нерухомою опорою 9 верстата, різбові елементи починають переміщатися в радіальному напрямку від центру мітчика-хвильовика, водночас пружина 3 стискається. Під час дотикання різбових елементів 5 з отвором заготівлі бойок 16 починає завдавати ударів по мітчику-хвильовику. Одночасно заготовині, закріпленій в патроні 7, відповідних механізмів

верстата, надають обертальний рух V_3 та поступальний рух подачі S_{np} , рівний кроку різьби, що отримується.

В залежності від моделі верстата обертання та поздовжня подача може передаватись інструменту при нерухомій заготовині.

Під дією статичної та динамічної складових навантаження деформувальні елементи занурюються в отвір заготовки, формуючи в ньому різьблення. Повернення мітчика-хвильовика у вихідне положення після кожного ударного імпульсу відбувається під дією пружини повернення 15, при цьому довжина переміщення мітчика-хвильовика контролюється обмежувачем ходу 2, який розташований у пазу мітчика-хвильовика. Деформувальні елементи залишаються у постійному контакті із заготовиною під дією пружини та радіальної сили накочування. При повороті заготовки на $1/n$ обороту (n – кількість елементів, що деформують) формується повний профіль різьблення. Одночасно деформувальні елементи своїм скосом упираються в конічну виточку 12 обмежувальної втулки 4, яка, своєю чергою, упирається в торець 13 мітчика-хвильовика.

Радіальне переміщення деформуючих елементів припиняється, бойок припиняє завдавати ударів по мітчику-хвильовику, і у разі провертання заготовки на повний оберт мітчик-хвильовик калібрує отримане різьблення.

Для виведення мітчика-хвильовика з обробленої заготовки припиняють обертання заготовки та механізм подачі верстата, із встановленим гідравлічним генератором механічних імпульсів (не показаний) з нижньою робочою частиною та мітчиком-хвильовиком виводять.

Під дією пружини обмежувальна втулка опускається вниз, а стягуюча пружина 6 переміщає деформувальні елементи радіально до центру, що виходять з утвореного різьбового профілю заготівлі та звільняють її. Від випадання з пазів мітчика-хвильовика деформувальні елементи фіксуються конічною виточкою обмежувальної втулки, яка стягується пружиною і стопорним кільцем 10.

Статико-імпульсне формоутворення та зміцнення внутрішніх різьблень пропонувані мітчиком-хвильовиком може бути реалізоване для різьблення діаметром 30 - 100 мм. СІО внутрішніх різьблень меншого діаметра доцільно

здійснювати перед **дорнованням**, а СЮ внутрішніх різьблень діаметром більш як 100 мм – різьбонакатувальними головками.

4.6. Холодне залізнення періодичним струмом

Розроблений новий спосіб холодного залізнення періодичним струмом з незалежним регулюванням амплітуд прямого (катодного) і зворотного (анодного) імпульсів, яке дозволяє у декілька разів підвищити продуктивність процесу і поліпшити властивості покриттів. Суть способу полягає в наступному. Живлення ванни періодичним струмом здійснюється від знижувального трансформатора Tr (рис. 4.26).

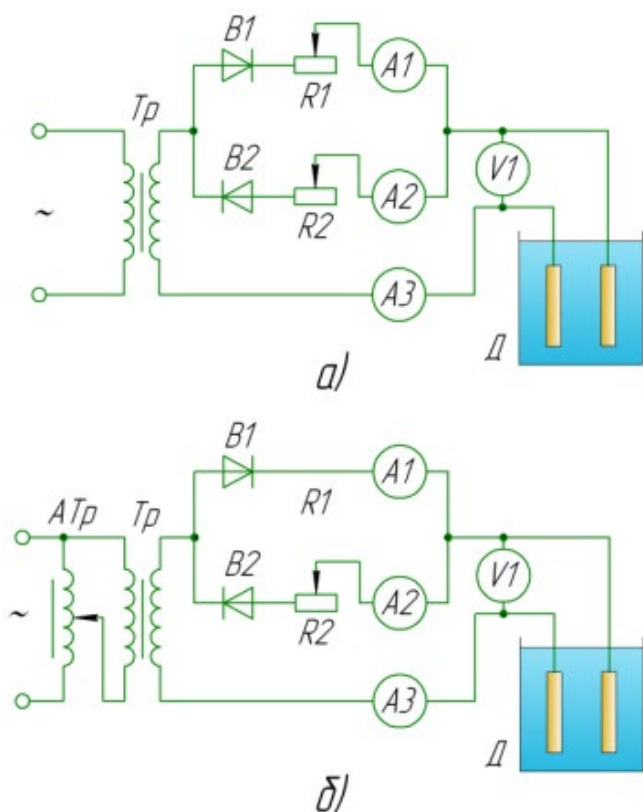


Рис. 4.26. Принципова схема електролізу періодичним струмом з незалежним регулюванням амплітуд прямого та зворотного імпульсів: регулювання прямого та зворотного імпульсів струму реостатами (а) та регулювання прямого імпульсу струму автотрансформатором (б); Tr – знижувальний трансформатор; ATr – автотрансформатор; $B1$ та $B2$ – напівпровідникові діоди; $R1$ та $R2$ – регулювальні реостати; $A1$ та $A2$ – магнітоелектричні амперметри; $A3$ і $V1$ – електромагнітні відповідно амперметр і вольтметр; D – ванна

Зустрічно-паралельне включення вентилів $B1$ та $B2$ дозволяє за допомогою реостатів $R1$ та $R2$ розділити та незалежно один від одного регулювати прямий (негативний) та зворотний (позитивний) імпульси змінного струму, задаючи їм різні амплітуди I_m^k та I_m^a (Рис. 4.27). Осадження металу відбувається у період проходження прямого імпульсу. У період проходження зворотного імпульсу

відбувається розчинення осадженого металу. Внаслідок того, що амплітуда прямого імпульсу I_m^k у кілька разів більше амплітуди зворотного імпульсу I_m^a , осадження металу значно перевищує його розчинення. У результаті на деталях поступово нарощується шар покриття. Періодична (з частотою 50 Гц) зміна заряду деталей і часткове розчинення осадженого металу створює умови, що дозволяють у кілька разів підвищити допустиму густину струму.

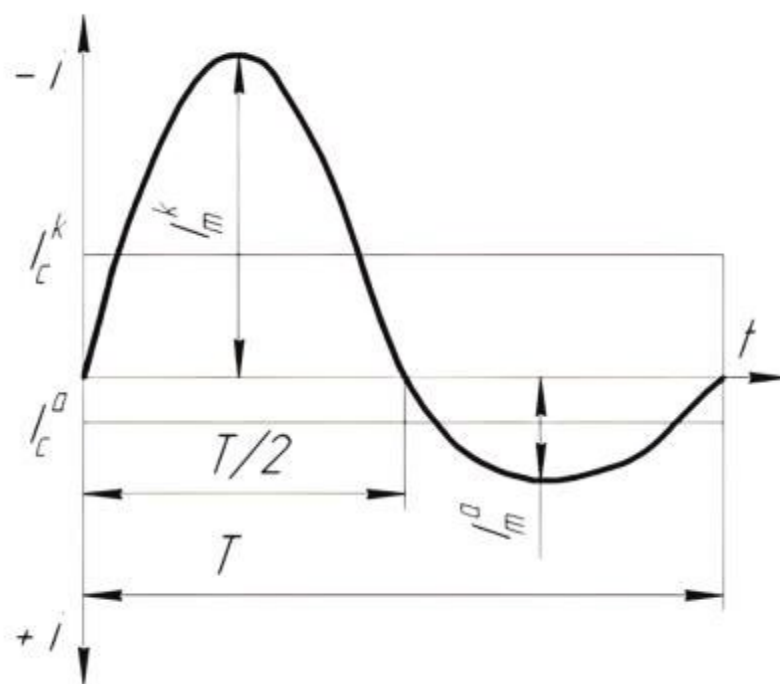


Рис. 4.27. Графік періодичного струму з незалежним регулюванням амплітуд прямого та зворотного імпульсів: I_m^k та I_m^a – амплітуди прямого та зворотного імпульсів; I_c^k та I_c^a – середнє значення прямого та зворотного імпульсів за період T

В результаті продуктивність холодного залізнення підвищується до рівня продуктивності гарячого залізнення постійним струмом. Щоби скоротити втрати електроенергії та полегшити управління процесом електролізу перед понижувальним трансформатором встановлюють автотрансформатор АТр (рис. 4.26, б).

Під час осадження металів періодичним струмом режим електролізу характеризується не одним, а двома електричними параметрами: катодною густиною струму D_k і катодно-анодним показником β , що визначається за формулами:

$$D_k = \frac{I_c^k}{S_k};$$

$$\beta = \frac{I_c^k}{I_c^a};$$

де I_c^k та I_c^a – середні значення за період відповідно прямого (катодного) та зворотного (анодного) імпульсів струму, А;

S_k – площа катода, дм^2 .

Оптимальні значення цих параметрів під час холодного залізнення становлять:

$D_k = 20 - 30 \text{ А / дм}^2$, $\beta = 6 - 10$, кислотність електроліту – 0,5 - 0,9 рН.

4.7. Комбінована технологія відновлювання та зміцнювання деталей послідовним залізоборидуванням

Покриття, сформовані дифузійною металізацією, дозволяють значно підвищити зносостійкість і корозійну стійкість відновлення деталей. Однак їх широке застосування на ремонтних підприємствах стримується з низки причин, серед яких головною є незначна товщина покриттів (0,01 - 0,1 мм).

Теорія отримання дифузійних боридних шарів на електролітичному залізі та створена на її основі нова комбінована технологія відновлення та зміцнення деталей у з'єднаннях «вал-втулка» залізоборидними покриттями, яка поєднує в собі переваги електролітичного залізнення та дифузійних покриттів. Нова технологія дозволяє отримати товщину зміцненого шару в 10 разів більшу, що перевищує товщину шарів, отриманих відомими способами відновлення дифузійної металізації. Зносостійкість пар тертя збільшується у 2,2 - 7 разів. Ресурс паливних насосів УТН-М з відновленими плунжерними парами та зміцненим сполученням «п'ята плунжера – болт штовхача» в 1,7 раза перевищує ресурс серійних. Розроблено технологічні процеси відновлення та зміцнення плунжерних пар паливних насосів УТН-М, золотників гідророзподільників Р-75 та гільз гідророзподільників коробки передач тракторів Т-150К.

Основа покриття, необхідна для зміни діаметра зношених поверхонь деталей, що створюється з дешевої маловуглецевої сталі Ст.3, за допомогою електролітичного залізнення.

Електролітичне залізнення дозволяє з високою продуктивністю отримувати покриття від кількох сотих часток до кількох міліметрів на доступному устаткуванні, забезпечує мінімальний припуск на подальше механічне оброблення або виключає його. Технологія вдосконалюється щодо поліпшення якості електролітичних залізних покриттів (ЕЗП), підвищення продуктивності, зменшення потреби чистої води, спрощення підготовчих та завершальних операцій.

Основними технологічними факторами, що впливають на товщину боридних шарів, є: температура процесу; час витримування та склад насипної суміші. Залежність товщини боридного шару від температури процесу підпорядковується експотенційному закону. Зі збільшенням часу витримування товщина боридних шарів зростає. Боридні шари максимальної товщини формуються на електролітичних залізних покриттях (Рис. 4.28).

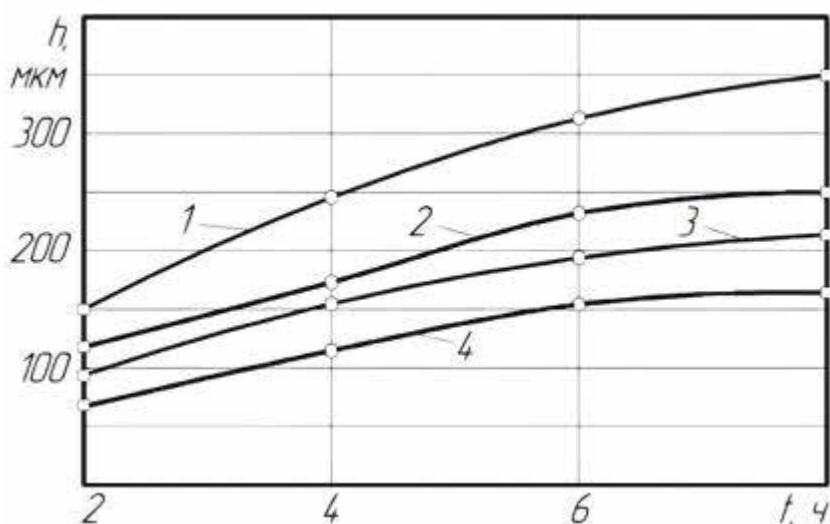


Рис. 4.28. Залежність товщини боридного шару від часу насичення: 1 – сталь 45 + ЕЗП; 2 – сталь 45; 3 – сталь 20X + цементация; 4 – сталь ХВГ

На рис. 4.29 представлені результати вимірювань мікротвердості за глибиною боридних, карбідо-хромових та хромонітридних шарів, отриманих на ЕЗП (300 мкм), а також боридних шарів на сталі 45 та ХВГ. Найвищу мікротвердість має сталь ХВГ – 17 100 МПа на глибину до 140 мкм.

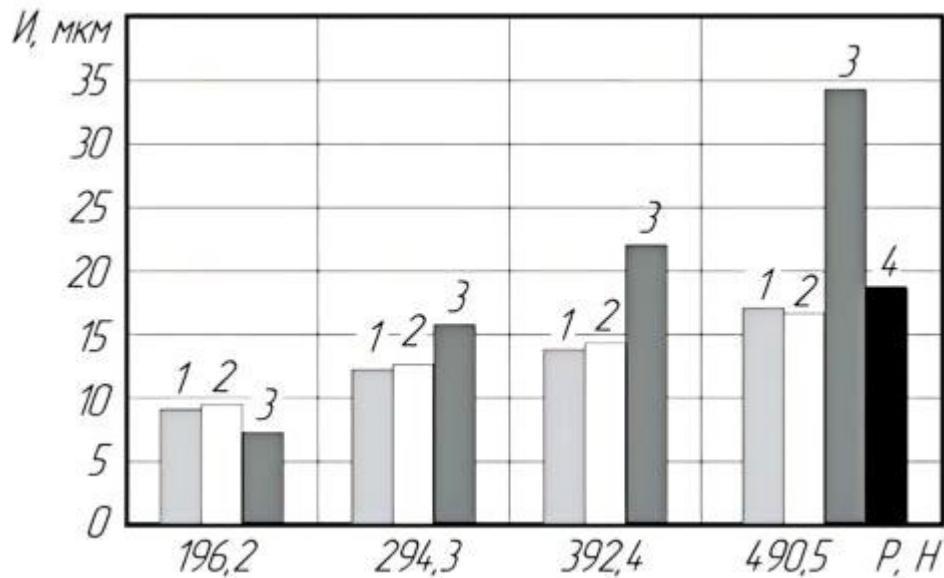


Рис. 4.30. Порівняльна оцінка зносостійкості боридованих покриттів залежно від навантаження: 1 – ЕЗП + боридування (240 мкм); 2 - ЕЗП + боридування (330 мкм); 3 – сталь 45 + боридування (170 мкм); 4 – сталь 45 + боридування + загартування

Вибрані для нанесення покриттів деталі (стрижні або втулки) надходять до гальванічної ділянки. Перед залізненням деталі знежирюють. Для нанесення електролітичних залізних покриттів використовують електроліт, з такими характеристиками: $FeCl_2 \cdot 4H_2O$ – 580 - 600г/л; рН = 0,5 - 0,7; температура 30 - 35 градусів.

Аноди зі сталі Ст. 3. На початку деталі піддають травленню за анодної густини струму $Da = 20 - 30$ А/дм², потім знижують густину струму до 6 - 10 А/дм² та продовжують травлення. Загальний час травлення – 45 - 75 с. Для покращення очищення поверхні від шламу та підвищення зчіплюваності покриття електроліз починають на асиметричному змінному струмі, а потім переходять на незмінний. Електроліз проводять за катодної густини $Dk = 10$ А/дм² до одержання покриття необхідної товщини.

Після залізнення деталі промивають гарячою водою, нейтралізують, ще раз промивають та сушать. Перед боридуванням ЕЗП шліфують до видалення дефектного шару. Для запобігання сколювання проводиться оброблення фасок та відсічних кромek робочих поверхонь.

Для підприємств технічного сервісу, що мають невеликі програми відновлення деталей (РТП, ремонтні заводи), рекомендується спосіб боридування в електропечах типу СНТ в контейнерах із плавким затвором. Контейнери виготовляють із листової сталі Х23Н18 завтовшки 3 - 4 мм. Деталі упаковують у контейнер. Склад порошкової суміші, % за масою: карбід бору (В4С) – 65%, решта – оксид алюмінію (А12О3). Як плавкий затвор використовується подрібнена натрій-силікатна брила. Температура процесу – 980 °С, час витримування 2 - 6 год необхідної товщини боридного шару. Після охолодження контейнери розковують та деталі очищують. Кратність використання суміші – до 30 разів.

В умовах фірмового ремонтування на заводах-виробниках рекомендується спосіб дифузійного боридування у вакуумі. Контейнери виготовляють із сталі Ст. 3 завтовшки 3 - 4 мм. Режим процесу боридування у вакуумі: склад суміші – 84% карбіду бору (В4С); інше – бура (Na₂В4О7), залишковий тиск $\approx 1,33 \cdot 10^{-1}$ Па; температура процесу - 980 °С; час витримування – 3 - 7 год залежно від необхідної товщини боридного шару.

Нагрівання контейнерів проводять у камері, попередньо вакуумованої до залишкового тиску $1,33 \cdot 10^{-1}$ Па. Після відкачування камери включають охолоджувальну систему печі. За температури 600 °С вакуумний насос відключають і продовжують нагрівання до заданого рівня. У процесі нагрівання вакуум падає через утворення порошкової суміші газової фази. Далі здійснюється витримування протягом заданого часу, після чого контейнери охолоджуються разом із піччю. Під час повторного використання до суміші необхідно додати 16 % бури. Кратність використання суміші – до 20 разів.

Після боридування деталі очищують і за необхідності піддають об'ємному або поверхневому гартуванню. Фінішне хутрооброблення являє шліфування на режимах серійного виробництва. Відмінна риса полягає в тому, що для шліфування залізоборидних покриттів застосовують шліфувальні робочі кола на основі синтетичних алмазів типу 1А1 АС6 120/100 МВ1 або ельбору (кубічного нітриду бору) типу 1А1 ЛМ 120/100 В1. Наприкінці проводять очищення, контролювання якості та геометричних параметрів.

Розділ 5. СУЧАСНІ СПОСОБИ ВІДНОВЛЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ

5.1. Відновлювання гільз циліндрів гальваноконтактним осадженням композитних покриттів

Традиційне гальванічне відновлення деталей хромуванням та залізненням не відповідає сучасним вимогам ремонтного виробництва. У зв'язку з цим дедалі ширший розвиток та застосування отримують модернізовані способи відновлення деталей гальванічним покриттям (рис. 5.1).

Способи відновлення деталей гальваномеханічним осадженням (ГМО) полягають у поєднанні процесу гальванічного осадження металу з його одночасним пошаровим пружнопластичним деформуванням.

У порівнянні з традиційними хромуванням та залізненням способи мають значні переваги щодо продуктивності процесу і якості покриттів, що осаджуються. Однак потрібна попередня механічне оброблення поверхні, що відновлюється для усунення просторових дефектів форми поверхні. Це обумовлено тим, що осаджене покриття, що наноситься за методом ГМО, точно повторить просторові відхилення форми відновлюваної поверхні.



Рис. 5.1. Класифікація способів нанесення гальванічних покриттів

Вищезгаданих недоліків позбавлені способи відновлення гальваноконтактним осадженням (ГКО). У ГКО поєднані процеси гальванічного нанесення покриття та його одночасного механічного оброблення. Як інструмент використовують різні матеріали, що забезпечують контрольоване кероване масоперенесення речовини інструменту на катод в залежності від ступеня його зношування.

Розроблений спосіб отримання ГКО композитних покриттів на внутрішніх поверхнях циліндричних деталей. Спосіб дозволяє відновлювати ділянки поверхні з різною швидкістю осадження покриття, що дозволяє не тільки компенсувати знос, а й відновлювати необхідну геометрію поверхні деталі без механічного оброблення. Регульоване використання інструментального матеріалу в покриттях (наприклад, частинок карбіду титану) дозволяє значно підвищити його мікротвердість та зносостійкість порівняно з покриттями, отриманими за традиційними технологіями. Як інструментальний матеріал застосовуються бруски, спечені з карбідів металів.

Для реалізації способу ГКО розроблені установка ГКО та обробний інструмент – електрод-інструмент, який відрізняється тим, що притискна поверхня виконана у вигляді сегментів, мають можливість вільного переміщення щодо базової осі.

Установка ГКО дозволяє відновлювати деталі вказаним способом, забезпечує рівномірність розподілу частинок наповнювача за обсягом композитної матриці та циліндричність відновлюваного отвору по висоті деталі завдяки рівномірному оновленню електроліту в міжелектродному просторі.

На рис. 5.2 показаний електролітичний осередок установки ГКО для нанесення покриттів на внутрішню поверхню циліндрів. Пристрій включає корпус у вигляді системи металевих трубок 1, з'єднаних з опорним 2 та центрувальним 3 дисками. У трубках виконані отвори 4 для підведення електроліту. Отвори в горизонтальних площинах розташовані похило до радіальних напрямків під кутом 15 - 40°, а по висоті трубок отвору виконані з кроком, що зменшується догори на 1,0 - 2,0 мм.

Вертикальне відхилення від рівномірного кроку та кутове відхилення каналів для закінчення електроліту розраховують окремо для кожної конкретної деталі.

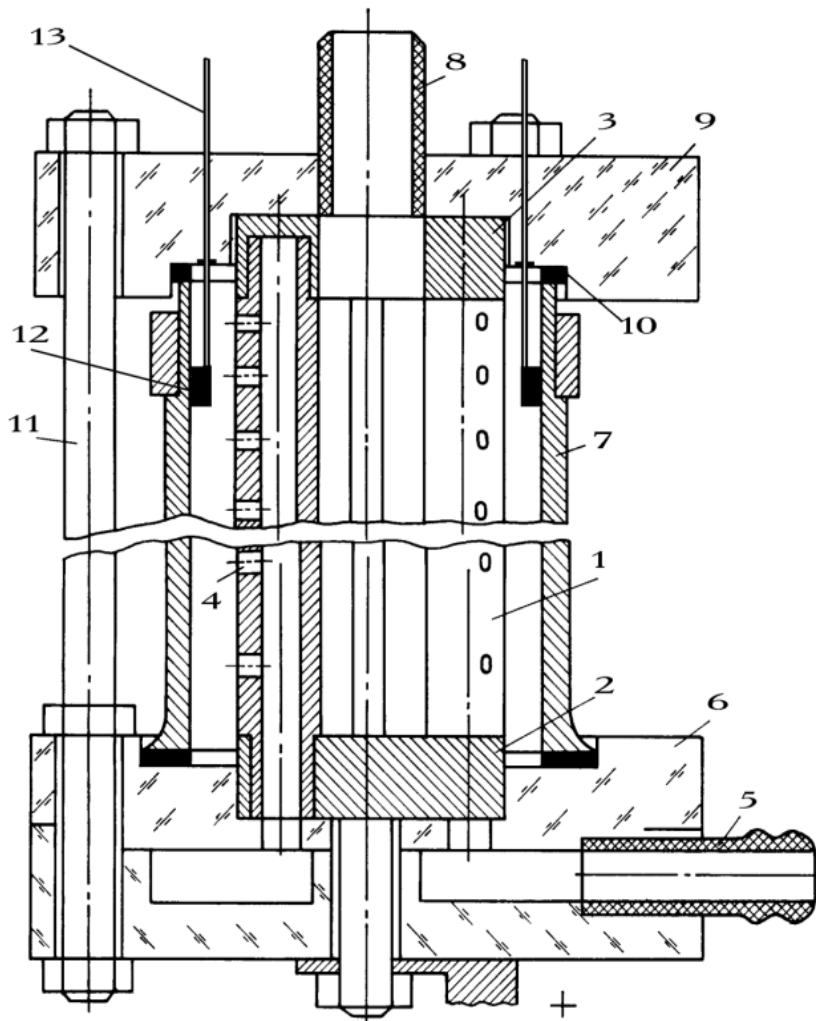


Рис. 5.2. Електролітичний осередок для нанесення композитних покриттів на внутрішню поверхню циліндрів

Опорний диск 2 з'єднаний з розподільником електроліту 6, в який вмонтований штуцер 5. На центрувальний диск 3 за допомогою трьох шпильок 11 монтується кришка 9, в якій встановлений зливний штуцер 8. Деталь 7 встановлюють у спеціально підготовлені пази у розподільнику електроліту 6 та кришці 9 через ущільнювачі 10. До деталі підведені інструментальні гребінки 13 із брусками із спеціального композитного матеріалу 12.

Пристрій працює наступним чином. Електроліт від насосної установки через штуцер 5, що підводить, розподільник електроліту 6, виконаний у вигляді замкненої кільцевої порожнини, і далі по трубках 1 через отвори 4 в них подається до поверхні оброблюваної деталі 7. Відведення електроліту із зони електролізу здійснюється через щілини між трубками 1 у внутрішню порожнину, утворену ними, і далі через

зливний штуцер 8. Герметичність електролітичного осередку забезпечується щільним притисканням кришки 9 через ущільнення 10 за допомогою трьох шпильок 11.

Зменшення відстані між отворами дозволяє компенсувати різну швидкість витікання струменів електроліту з нижніх отворів (велика швидкість) та верхніх отворів (менша швидкість), а зміна кутів закінчення дозволяє покращити циркуляцію в міжелектродному просторі. Експериментально встановлено, що для деталей заввишки до 50 мм оптимальною величиною зниження відстаней між отворами є 1,0 мм, а деталей висотою 600 мм – 2,0 мм. Застосування даного пристрою дозволяє досягати рівномірного оновлення електроліту та отримання рівномірних осадів металу за висотою деталі.

Процес ведеться за змінного тиску електрода-інструменту та оброблюваною поверхнею, яке залежить від її зносу і забезпечує зрештою необхідну геометрію отвору, що відновлюється.

5.1.1. Спосіб гальваноконтактного осаджування композитних покриттів на основі хрому

Традиційні технології нанесення хромового покриття не забезпечують гарантованого отримання безпористого покриття та герметичності і є основною причиною відмови гідравлічних та пневматичних циліндрів автотракторної техніки.

Порушення герметичності гідравлічних та пневматичних циліндрів обумовлено низкою причин. В осадженому покритті формується розвинена сітка пор і тріщин, що є результатом наявності високих розтягувальних залишкових напруг, які перевищують межу міцності хрому. Другою причиною порушення герметичності за шаром хрому є саме хромове покриття, яке формується з мікроканалами та тріщинами. Третьою причиною є механічне оброблення хромових покриттів, після якого у поверхневому шарі деталі утворюються мікротріщини. Розроблено спосіб отримання ГКО композитних покриттів на основі хрому на внутрішніх поверхнях гідравлічних та пневматичних циліндрів. Процес ведеться при змінному тиску інструменту на оброблювану поверхню, який залежить від її

зносу і забезпечує в кінцевому підсумку необхідну геометрію отвору, що відновлюється.

Схема оброблення показана на рис. 5.3. Деталь 1, закріплена на шпинделі установки, здійснює обертальні рухи навколо своєї осі, а інструмент 2, з розрахунковим зусиллям впливаючи на осаджене гальванічним способом покриття, здійснює зворотно-поступальні рухи вздовж осі обертання деталі.

Дослідженнями встановлено, що основні властивості покриттів визначає саме зусилля впливу інструменту на поверхню деталі, що піддається відновленню.

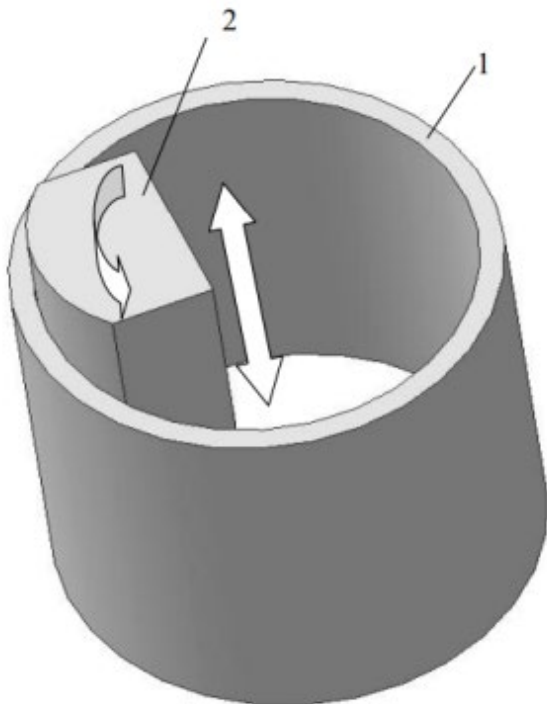


Рис. 5.3. Схема методу ГКО

Отримано залежність кінцевого тиску інструменту на поверхню, що піддається осадженню, що дозволяє отримувати якісні товсті покриття (зокрема хромові) із заданими фізико-механічними властивостями.

$$P_k = \left(1 - \frac{T - T_0}{10\eta} k_T\right) \frac{S_k}{1000} \sigma_s \left(1 + \frac{\mu_s h}{2a}\right),$$

де T - Товщина покриття, мкм;

T_0 - елементарна товщина шару покриття, яка не потребує додаткового регулювання тиску інструменту, мкм;

ν – товщина шару покриття, що осаджується за одну хвилину, мкм;

S_k – площа контакту інструменту з деталлю, дм^2 ;

h – товщина шару, що осаджується за один оберт деталі, мкм;

a – довжина інструменту, мм

Розроблено модель формоутворення товстошарових композитних покриттів на основі хрому з залишковою напругою стиснення, що виключають утворення пор і мікротріщин. Визначено раціональний режим оброблення: щільність струму 17 - 19 кА/м^2 , температура робочого середовища 55 - 58 $^{\circ}\text{C}$, тиск інструменту 2 - 3 МПа. Швидкість осадження покриття становить 1,5 мкм/хв, що більш ніж у 4 рази перевищує стандартну швидкість осадження хрому. Покриття відбувається в стандартному електроліті хромування, що містить 200 - 250 г/л CrO_3 і 2,0 - 2,5 г/л H_2SO_4 .

За результатами досліджень розроблено номограму, показану на рис. 5.4, що дозволяє у виробничих умовах без обчислень вибрати раціональні режими осадження.

Композитні покриття на основі хрому завдяки включенням мікрочастинок карбиду титану в матриці мають мікротвердість на 20% вище, а швидкість зношування до 1,25 рази нижче, ніж у покриттів, отриманих традиційним хромуванням.

Проведено випробування герметичності покриттів на серійних гідравлічних гільзах однакового типорозміру, відновлених за традиційною технологією (серія 1) та за технологією ГКО (серія 2). Результати випробувань представлені у табл. 5.1.

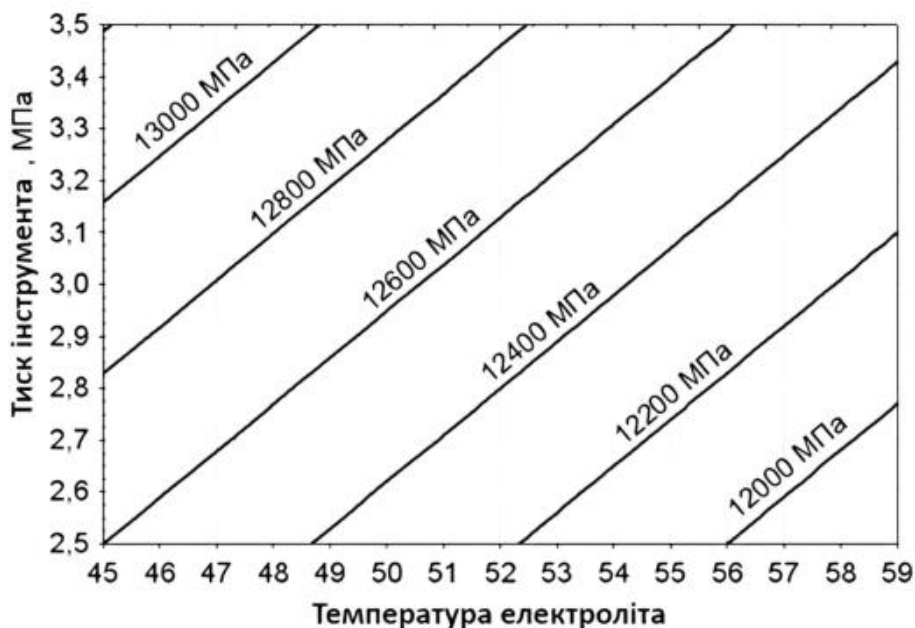


Рис. 5.4. Номограма для визначення мікротвердості покриттів при $i = 18 \text{ кА/м}^2$

Результати випробувань підтверджують, що завдяки формуванню ГКО в композитних покриттях на основі стискувальних залишкових напруг хрому, виключається поява пор і мікротріщин і забезпечується герметичність гідроциліндрів.

Таблиця 5.1. Результати порівняльних випробувань штоків

№ серії штоків	№ штока	Товщина покриття, мкм	Час нанесення покриття, год.	К-ть положень випробувань	Тиск у системі, МПа	Час випробувань, хв.	Результат випробувань
Серія 1	МГ-273	311	16,3	3	15	5	порист.
	АК-251	275	15,3	3	15	5	порист.
	ПЕ-192	284	15,6	3	15	5	порист.
Серія 2	АН-270	442	1,41	3	15	5	безпорист.
	ВК-137	447	1,41	3	15	5	безпорист.
	АК-426	450	1,5	3	15	5	безпорист.

За результатами проведених досліджень розроблено технологію розмірного відновлення гільз гідроциліндрів сільськогосподарської техніки композитним покриттям на основі хрому, що містить такі операції: ізоляція місць, що не підлягають хромуванню; монтаж деталей на підвіски; знежирення деталей та промивання їх; декапування деталей; хромування. Технологія забезпечує отримання композитних покриттів на основі хрому завтовшки до 0,45 мм. При цьому їхня мікротвердість на 20% вища, а швидкість зношування до 1,25 раза нижча, ніж у покриттів, отриманих традиційним хромуванням.

5.1.2. Спосіб гальваноконтактного осаджування композитних покриттів на основі заліза

Найбільш відповідальним агрегатом автотракторної техніки є двигун, частку якого припадає 36 - 52 % від кількості відмов. Ресурс двигуна значною мірою залежить від зношування деталей циліндро-поршневої групи (ЦПГ), до яких

відносяться гільзи циліндрів. Міжремонтний ресурс деталей ЦПГ не перевищує 40% ресурсу двигуна, що не відповідає сучасним вимогам технічної експлуатації.

До покриття гільз циліндрів дизелів пред'являються специфічні вимоги:

- гільзи повинні добре протистояти явищам хімічної та електрохімічної корозії, пов'язаної з впливом на стінку гільзи газів та електролітів сірчаної, вугільної та інших кислот;

- покриття повинно мати високу оливомісткість, пористість, змочуваність, адгезію, низький коефіцієнт тертя та високу зносостійкість в умовах впливу високих температур.

Розроблений спосіб отримання ГКО композитних покриттів на основі заліза на внутрішніх поверхнях гільз циліндрів дизельних двигунів тракторів, що відповідають вищезазначеним вимогам.

Визначено раціональний режим обробки: щільність струму 26 - 28 А/дм², температура робочого середовища 65 - 70 С, тиск інструменту 1 - 1,5М Па. Швидкість осадження покриття становить 6,7 мкм/хв, що у 1,4 - 1,8 рази перевищує стандартну швидкість осадження зносостійких стандартних залізних покриттів у хлористих ваннах залізнення.

Покриття здійснюють в стандартному електроліті, що містить 300 – 350 г/л FeCl₂•4H₂O ТУ 6-02-609-86. Як аноди використовують пластини, нарізані зі смуг сталі марки 10 ГОСТ 1050-88. Аноди розміщують у чохлах, виготовлених із фільтрувальної тканини зі скляного волокна ГОСТ 8481-75. Відношення площі S_a : $S_k = 1 - 2$.

Анодне травлення та нейтралізацію проводять у лужному електроліті, що містить 200 - 250 г/л каустичної соди, 100 г/л кальцинованої соди, 5 - 10 г/л рідкого скла, інше – вода.

У табл. 5.2 показані показники шорсткості відновлених та розточених гільз циліндрів.

Мікропрофіль поверхні після ГКО є чергуванням щодо плоских ділянок і западин для утримання мастильного матеріалу. Такий профіль подібний до профілю, що утворився в ході експлуатації. При цьому глибина западин біля поверхонь після ГКО більша, ніж після абразивного хонінгування і

плосковершинного хонінгування і, відповідно, більша місткість, що обумовлює менший знос при експлуатації.

Таблиця 5.2

Значення показників та шорсткості відновлюваних і розточених гільз циліндрів

Найменування показників	Од. вимір.	Вид обробки			
		розточування	абразивне хонінгування	плосковершинне хонінгування	ГКО
R_a	мкм	6,96 - 7,68	0,18 - 0,32	0,30 - 0,57	0,12 - 0,16
R_z	мкм	38,15 - 67,21	0,98 - 2,14	2,81 - 5,04	0,6 - 0,8
S_m	мм ³ /см ²	0,012 - 0,027	0,001 - 0,004	0,016 - 0,024	0,029 - 0,037

Порівняльні випробування показали, що знос гільз, відновлених ГКО композитних покриттів на основі заліза, у 2 - 4 рази менше, ніж нових.

За результатами досліджень розроблено номограму для визначення без обчислень параметрів режиму обробки з метою отримання композитних покриттів на основі заліза заданої мікротвердості (рис. 5.5).

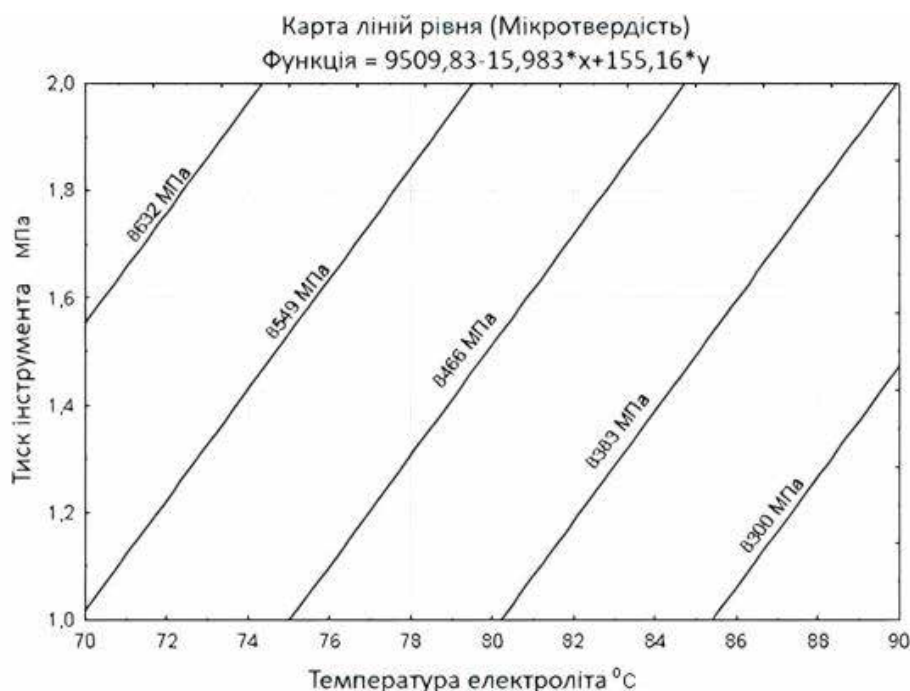


Рис. 5.5. Мікротвердість (МПа) композитних покриттів на основі заліза при

$$i = 28 \text{ А/дм}^2$$

Мікротвердість композитних покриттів на основі заліза на 28% вище, а швидкість зношування до 1,5 раза нижча, ніж у отриманих покриттів традиційним гальванічним залізненням.

Розроблено технологію та обладнання для відновлення гільз циліндрів дизельних двигунів автотракторної техніки.

Загальна технологічна схема відновлення гільз двигунів наступну послідовність:

1. Промивання деталей від бруду та олій. Включає обробку поверхонь під покриття шліфувальною шкіркою (у разі потреби).
2. Вторинна промивка.
3. Забарвлення захисними фарбами або лаками (при їх вживанні).
4. Травлення у хлористому електроліті.
5. Промивання.
6. Анодне оброблення у лужній ванні.
7. Промивання.
8. Монтаж деталей та захисних футлярів на підвіску установки ДКО.
9. Витримування без струму.
10. Осадження композитних гальванічних покриттів з урахуванням заліза.
11. Демонтаж деталі з встановлення ГКО.
12. Промивання.
13. Видалення лаків.
14. Нейтралізування.
15. Промивання.
16. Контролювання якості осаду.
17. Консервація.

Деякі з перерахованих операцій іноді опускаються, наприклад, оброблення шкіркою не застосовується, якщо деталі трують у хлористому електроліті.

Для реалізації процесу ГКО на внутрішні поверхні гільз циліндрів двигунів модернізовано хонінгувальний верстат СК-21. Загальний вид установки для ГКО представлено на рис. 5.6.

Технічні характеристики установки ГКО наведені нижче:

Діапазон діаметрів оброблюваних отворів, мм 70 - 350

Максимальна відстань між центрами циліндрів, мм 1200

Максимальна довжина отворів, що обробляються, мм 1050

Обладнання оснащено приладом активного контролювання відновлення поверхні, що дозволяє в режимі реального часу контролювати товщину покриття, без якого застосування даного способу у виробництві вкрай важко.

Враховуючи особливу агресивність робочого середовища, всі деталі установки, розташовані нижче дзеркала електроліту виконані з титанового сплаву та фторопласту. Особливістю відновлення внутрішніх циліндричних поверхонь гільз тракторних двигунів є строго обмежений міжелектродний зазор, який накладає деякі обмеження на проектування інструментів.



Рис. 5.6. Загальний вид установки ГКО відновлення внутрішніх поверхонь гільз циліндрів двигунів

У зв'язку з цим розроблено спеціальний інструмент, зображений на рис. 5.7.

Наявність пружного елемента всередині пристрою, що має механічний привід, забезпечує сувору відповідність теоретичного тиску поверхню, що відновлюється практичному. Крім цього, циліндричний елемент, який служить анодом, одночасно виконує роль перекачувального пристрою для підведення свіжого електроліту, працюючи в установці як поршень.

Відмінною рисою даної конструкції є забезпечення гарантованої міжелектродної відстані між анодом і деталлю, сталості відрегульованого тиску інструменту на поверхню, що покривається, що забезпечується пружними брусками, а також постійне прокачування електроліту в міжелектродний зазор, що забезпечує необхідну концентрацію робочого середовища.



Рис. 5.7. Інструмент для нанесення композитних покриттів на основі заліза на внутрішні циліндричні поверхні

Устаткування забезпечене шпинделями широкого типорозміру, що дозволяє легко відновлювати композитним покриттям отвори діаметром 70 - 350 мм без побоювання втрати жорсткості технологічної системи загалом. Контролювання товщини обложеного покриття ведеться за допомогою приладу активного контролю, яким оснащена установка ГКО.

Для забезпечення точного позиціонування осі шпинделя з віссю отвору, що обробляється, застосовується пряма його установка за допомогою спеціального установчого мікрометричного приладу, як забезпечує найвищу точність при обробці. Загальний принцип роботи установки показано на рис. 5.8.



Рис. 5.8. Принцип забезпечення співвісності шпинделя обладнання з віссю оброблюваного отвору

На рис. 5.9 показана гільза циліндра дизельного двигуна СМД-60, відновлена за технологією гальваноконтантного осадження шляхом нанесення на внутрішню поверхню композитного покриття на основі заліза, а на рис. 5.10. збільшене зображення внутрішньої робочої поверхні гільзи до відновлення та після нього.



Рис. 5.9 Зовнішній вигляд відновленої гільзи дизеля СМД-60



а)



б)

Рис. 5.10. Поверхня гільзи: а) до відновлення; б) після відновлення ГКО

5.2. Сучасні способи застосування полімерних матеріалів для відновлювання деталей підшипникових вузлів

5.2.1 Відновлення підшипників ковзання типу «втулка», «вкладиш», «шестерня» полімерними композиційними наноматеріалами

Розроблені полімерні композиційні наноматеріали на основі епоксидних смол та комбінована технологія нанесення антифрикційних покриттів на підшипники ковзання типу "втулка", "вкладиш", "шестірна". Запропоновано для збільшення

адгезії композиційних покриттів перед їх нанесенням проводити електроіскрову обробку металевої поверхні шаром бронзових гранул. Відбувається електроіскрове напикання пористого каркаса бронзових гранул (локальне чи суцільне) на поверхні виробу. Сітка сферичної форми спечених металевих частинок, міцно приварених до підкладки, утримує у своїх лабіринтах полімерне сполучне і наповнювач з мінімальними внутрішніми напругами, наближаючи адгезійний зв'язок на межі розділу фаз «метал-полімер» до межі міцності на зсув самої полімерної композиції (рис. 5.11).

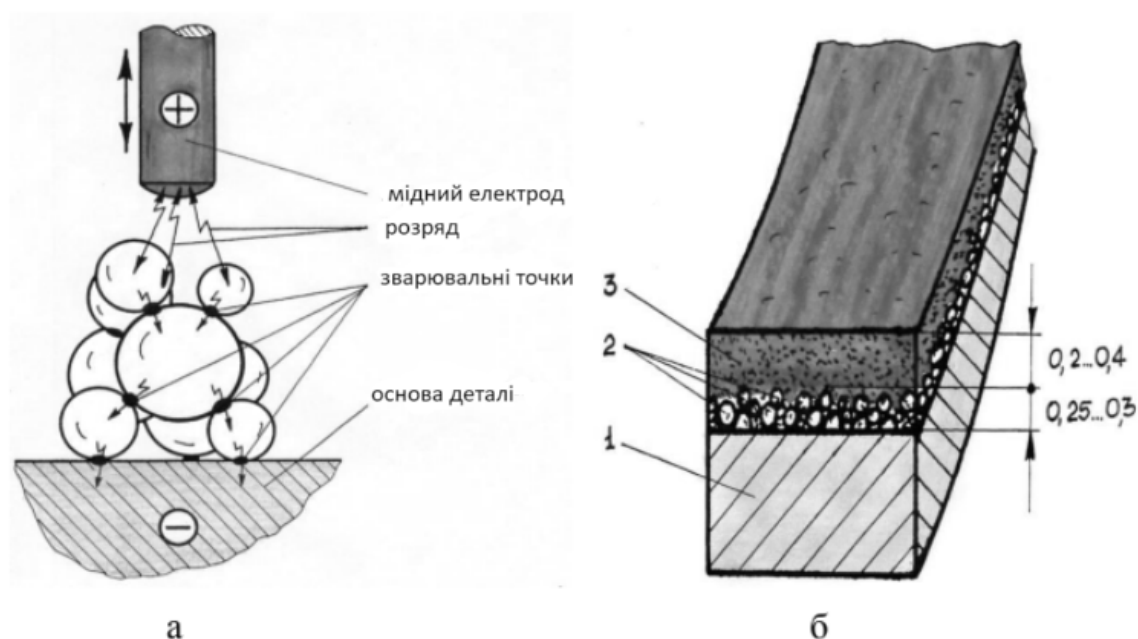


Рис. 5.11. Запропонована принципова схема-модель (а) ЕІО поверхні деталі мідним електродом по шару сферичних гранул бронзи та схема будови металополімерного покриття (б): 1 – основа (деталь); 2 – напечений шар бронзових гранул; 3 – полімерне сполучне з наповнювачем

Покриття формують у полі відцентрових сил. Досліджено вплив режимів відцентрового формування фізико-механічні, триботехнічні та експлуатаційні характеристики одержуваних покриттів.

Теоретично обґрунтовано ефективність виборчого перенесення матеріалів при терті з метою автокомпенсації зносу та зменшення ймовірності водневого зношування сталеві поверхні тіла шляхом модифікації термореактивних смол хімічно активними добавками.

Електроіскрове напикання пористого каркаса бронзових гранул виконують установкою «ЕЛІТРОН-22Б» з високочастотною приставкою «БІГ1» для електроіскрової обробки мідним електродом за шаром бронзових

гранул (БРОЦС, БРАЖНМЦ тощо). Пропонований спосіб попереднього електроіскрового напикання шару бронзових гранул дозволяє збільшити міцність полімерних покриттів на зсув у 2,8 - 3,5 рази (рис. 5.12), з 10 - 15 МПа ЕЮ мідним електродом без шару гранул до 35 - 38 МПа ЕЮ мідним електродом за шаром бронзових гранул розміром 40 - 80 мкм та 48 - 50 МПа ЕЮ мідним електродом по шару бронзових гранул розміром 100 - 220 мкм.

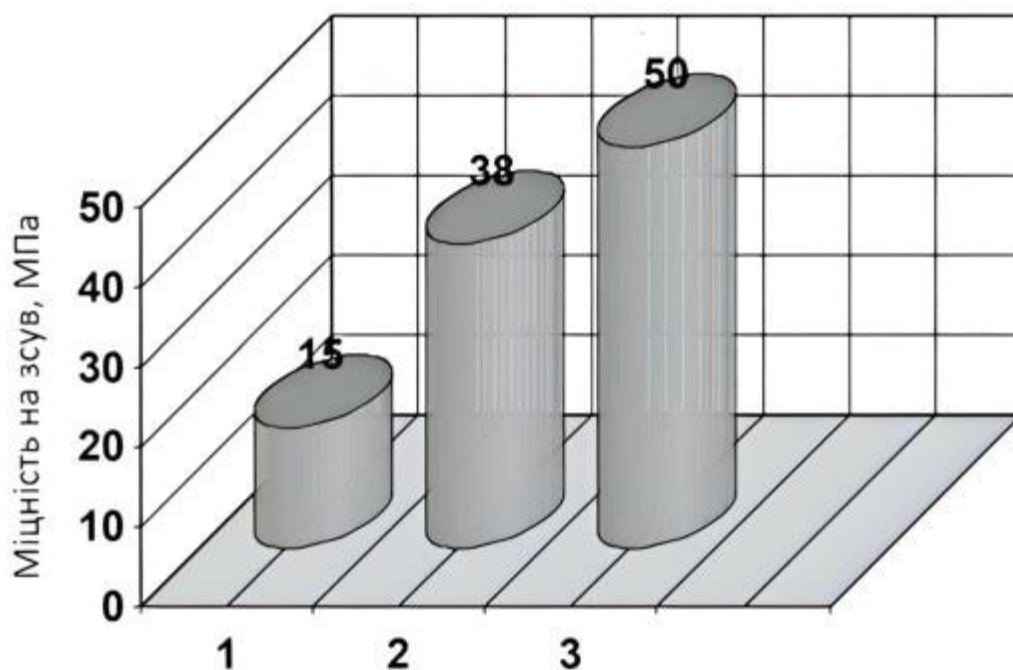


Рис. 5.12. Результивна залежність межі міцності полімерних покриттів на зсув ($\sigma_{сж}$, МПа) від варіанта підготовки металевої поверхні: 1 – ЕЮ МЕ без гранул; 2 – ЕЮ мідним електродом по гранулах 40 - 80 мкм; 3 – ЕЮ мідним електродом по гранулах 100 - 220 мкм

На рис. 5.13 показані деталі після електроіскрового оброблення.

Заливку полімерних композиційних матеріалів та відцентрове формування тонкошарових антифрикційних покриттів на деталях виконують в оригінальній високошвидкісній установці-модулі (рис. 5.14) або модернізованому верстаті моделі Р-105 (ТУ200-1/4-187-79).



а)



б)

Рис. 5.13. Фрагменти нанесеного покриття у вигляді об'ємного пористого каркаса:

а) – втулки; б) – шестерні

На рис. 5.15 показана важлива схема установки для нанесення полімерних композицій на базі верстата Р-105. Затвердіння полімерних композицій у динаміці проводять при обертанні зразків зі швидкістю в діапазоні $V_{\text{фор}} = 0,2 - 6,5$ м/с при температурах $T_{\text{дин}} = 50 - 200$ С.

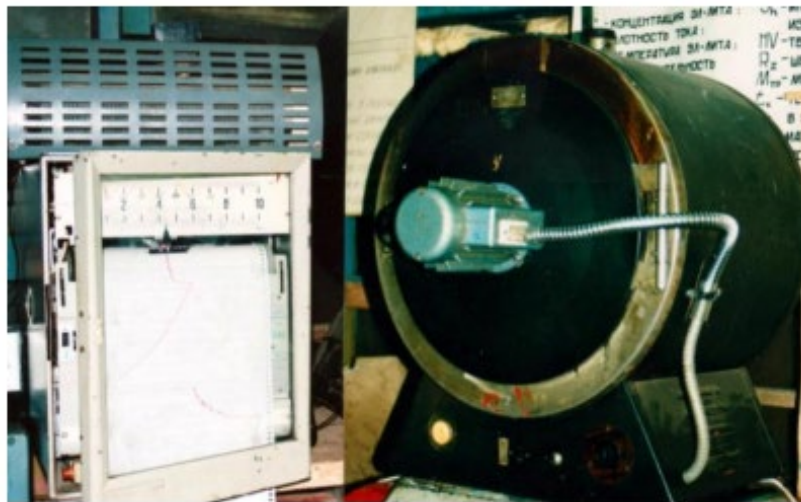


Рис. 5.14. Установка-модуль для відцентрового формування тонкошарових антифрикційних покриттів на деталях

Завершують затвердіння в статисти термошафи СНОЛ 3,5;3,5;3,5/3-ІЗ (ТУ16-531.639-78) у діапазоні температур $T_{\text{ст}} = 50 - 150$ С.

Механічне оброблення деталей з покриттями проводять різцями з пластинами ВК та ТК на верстатах 1К62 та А616.

Для зменшення ймовірності водневого зношування, підвищення довговічності трибосполучень у роботі рекомендується використовувати явище вибіркового перенесення матеріалів при терті та спрямованій поляризації контактуючих поверхонь, формуючи покриття на основі електронегативних термореактивних смол (на прикладі епоксидних).

Як затверджувачі використовують амінні комплекси металів, які у поєднанні з нанорозмірними наповнювачами зменшують здорожчання сталеві поверхні у 1,46 - 3,9 рази (рис. 5.16), знижують коефіцієнт тертя у 1,58 - 2,48 рази.

Розроблені склади полімерних композицій відрізняються високою навантажувальною здатністю: на моторній оливі до 28 - 30 МПа, на трансмісійному – до 25 - 28 МПа при швидкості ковзання до 3,5 м/с і можуть бути використані замість цільно виточених втулок із бронзового або алюмінієвого лиття, дорогого

тонколистового бронзового прокату. Низька питома витрата композицій (0,25 - 0,35 г/см²) визначає економічну ефективність розробленої технології.

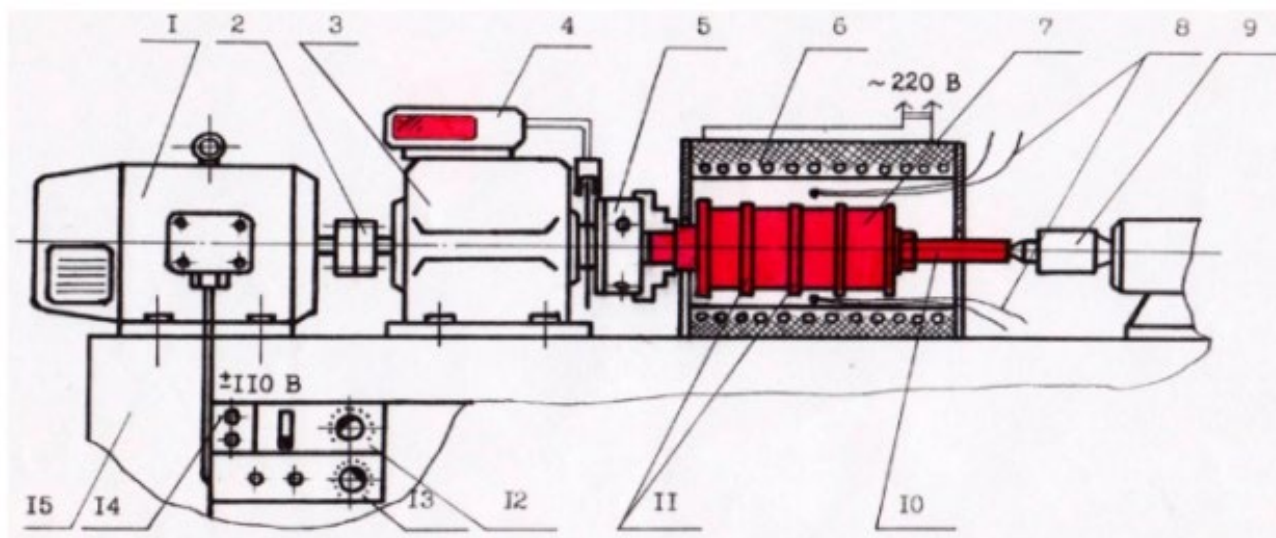


Рис. 5.15. Установка для нанесення полімерних композицій на базі верстата Р-105:
1 – двигун постійного струму; 2 – муфта; 3 – підшипниковий блок; 4 – тахометр електронний цифровий; 5 – патрон; 6 – термокамера; 7 – деталі для нанесення покриттів; 8 – термопари; 9 – центр обертовий; 10 та 11 – елементи оправлення; 12 – регулятор частоти обертання; 13 – терморегулятор; 14 – пульт керування; 15 – основа

Результати стендових та експлуатаційних випробувань деталей з дослідними покриттями у вузлах тертя сільськогосподарської, дорожньо-будівельної техніки та автомобільного транспорту показали збільшення ресурсу деталей з дослідними покриттями в 1,8 - 2,5 раза, зносостійкості – 1,8 - 3,5 раза.

В результаті узагальнення матеріалів досліджень розроблено технології відновлення деталей (рис. 5.17) типу «втулка» (втулок розподільних валів двигунів А-41, Д-440, Д-21, СМД-14 - 21, масляних та гідронасосів НМШ та НШ, що направляють втулок штока гідроциліндрів тощо) та «шестерня» з посадкою ковзання по валу або осі (вузла реверсу тракторів Т-25А, Т-30А, коробки передач МТЗ-80/82, дільника потужності коробки передач КамАЗ, проміжних шестерень ГРМ та приводу ТНВД ДВС тощо).

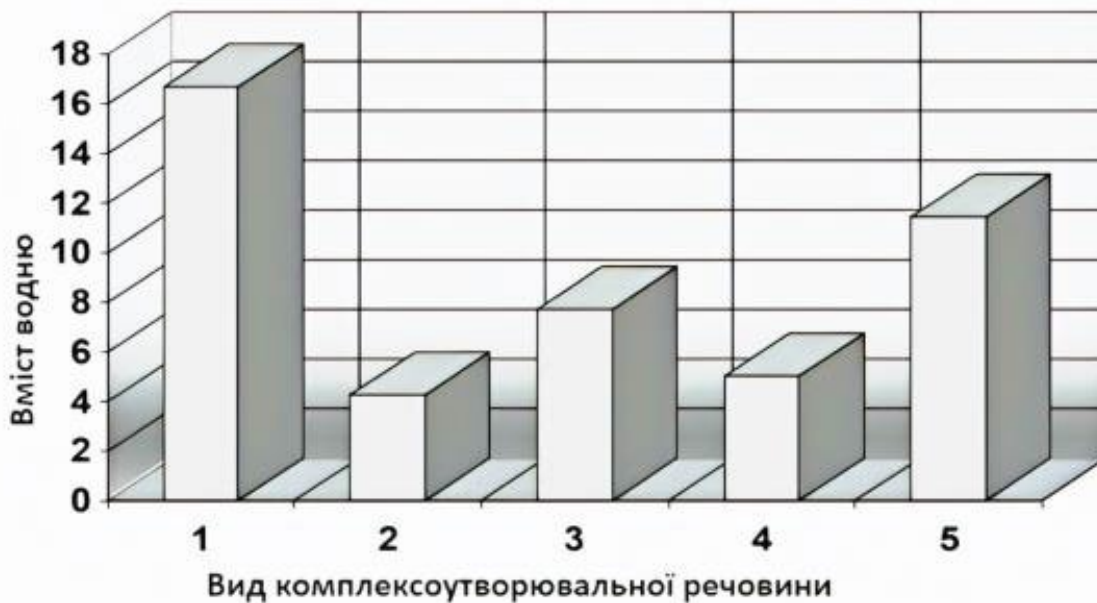


Рис. 5.16. Зміна вмісту дифузійно-активного водню (СН.10-5, м³/кг) у структурі сталі 18ХГТ при терті про полімерне покриття з легувальними добавками: 1 – без добавок; 2 – мідний комплекс саліцилальметоксіаніліну; 3 – хлористий молібденіл; 4 – чотиривалентне олово себацинової кислоти; 5 – аміновінілімінатний комплекс

Розроблено єдину структурну схему послідовності технологічних операцій з ремонтування (виготовлення) деталей вузлів тертя із застосуванням модифікованих полімерних композицій (рис. 5.18).

Після видалення забруднень, дефектації (вхідного контролю) та термообробки (прожарювання при 250 - 300 °С у печах конвеєрного чи шахтного типів) деталей ремонтного фонду, що надходить, проводиться розточування внутрішнього діаметра на верстатах токарної групи для видалення слідів нерівномірного зносу і надання правильної геометричної форми з урахуванням припуску під нанесення пористого шару, електроіскрове напикання на установках серій «Елітрон», «Вестрона» (при $I = 3 - 5$ А, $f = 200 - 450$ Гц, $\tau = 0,5 - 0,8$ хв/см²) мідним (латунним, бронзовим) електродом $d = 4 - 5$ мм шару бронзових гранул дисперсністю 100 - 220 мкм пористого шару (каркаса) завтовшки 250 - 300 мкм.

Далі, встановлення виробу в оправлення, попередній їх нагрівання до 120 - 150 °С, нанесення із шприца приготовленої (дозованої) порції полімерної композиції, термообробка при обертанні ($V_{фоп} = 1,5 - 2,8$ м/с, $T_{дин} = 150 - 180$ °С, $t_{дин} = 0,5 - 0,6$

год) і в статиці ($t_{cm} = 100 \pm 10$ °С, $T_{cm} = 1,5 - 2,0$ год), механічне оброблення, контроль якості покриттів.

Для отримання антифрикційних зносостійких покриттів у роботі пропонується ряд оптимальних складів композицій (подані заявки на патенти), подані у таблиці 5.3.

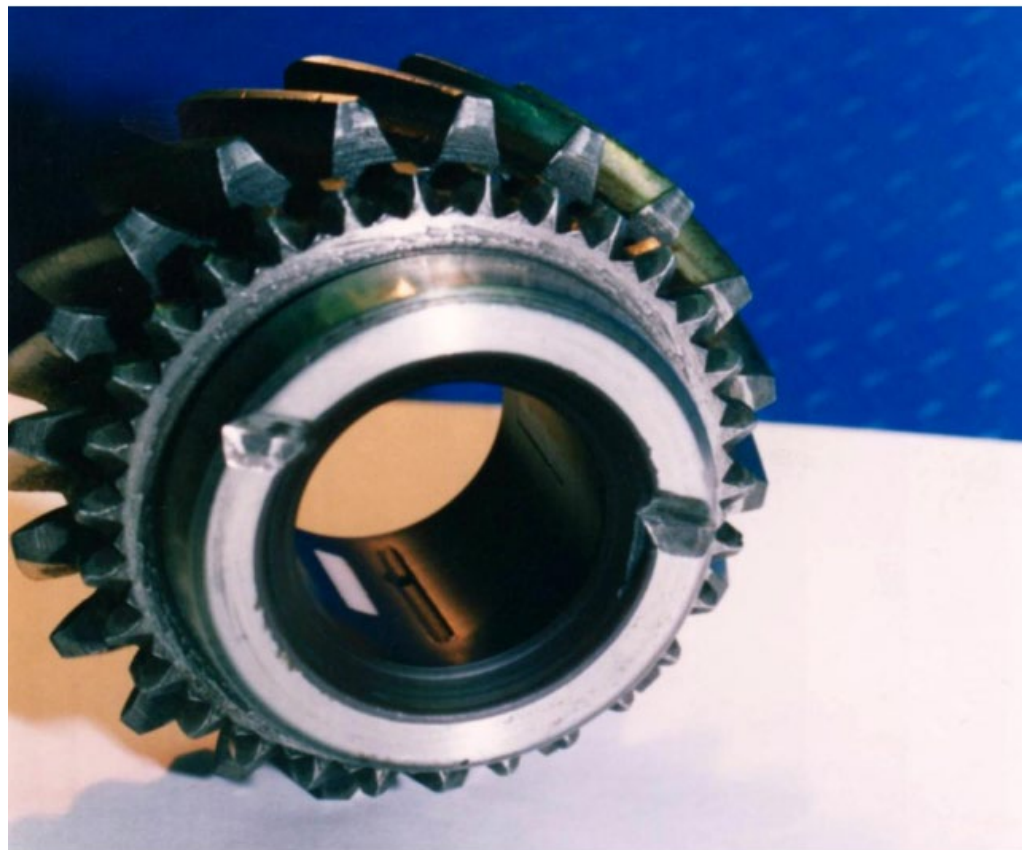
Таблиця 5.3. Рекомендовані склади модифікованих полімерних композицій

1. компаунд К-115.....100 г. - закис заліза.....6-12 г. - окис магнію.....1-3 г. - плазмоворозширений графіт...4-8 г. - аміновінілімінатний комплекс.....0,4-0,9 г. УП-0633М.....20 г.	4. компаунд К-115.....100 г. - двоокис титану.....3-5 г. - графіт колоїдний.....2-4 г. - окис заліза.....12-16 г. - мідний комплекс саліцилальметоксианіліну...0,8-1,2 г. УП-0633М.....20 г.
2. компаунд К-115.....100 г. - хлорокис міді2-5 г. - сірка колоїдна.....1-6 г. - двоокис кремнію.....3-9 г. - чотиривалентне олово себацінової кислоти.....0,4-0,8 г. УП-0633М.....20 г.	5. компаунд К-115.....100 г. - шунгіт.....0,5-0,8 г. - серпентиніт.....0,1-0,3 г. - сірка колоїдна.....2-5 г. - окис цинка.....1,5-3 г. УП-0633М.....20 г.
3. компаунд К-115.....100 г. - плазмоворозширений графіт...2-8 г. - три хлориста сурма.....0,3-0,5 г. - окис хрому.....1,8-4,4 г. - хлористий молібденіл.....0,2-0,7 г. УП-0633М.....20 г.	6. компаунд К-115.....100 г. - серпентиніт0,1-0,5 г. - каолін.....2-6 г. - двоокис титану.....4-10 г. - графіт колоїдний.....1-6 г. УП-0633М.....20 г.

Технологія дозволяє отримувати антифрикційні зносостійкі покриття завтовшки до 2,0 мм. Робоча товщина, що рекомендується для ПС покриттів становить 0,3 - 0,5 мм (до 0,8 мм).



a)



b)



В)



Г)



д)



е)

Рис. 5.17. Відновлені деталі: *a* – втулки ходової частини тракторів; *б* – шестерня коробки передач автомобіля; *в* – вузол реверсу тракторів Т-25А; *г* – шестірні вузлів трансмісії автомобілів; *д* – втулки вертикального шарніра тракторів Т-150К; *е* – опорні втулки катків екскаваторів ЕО-2626

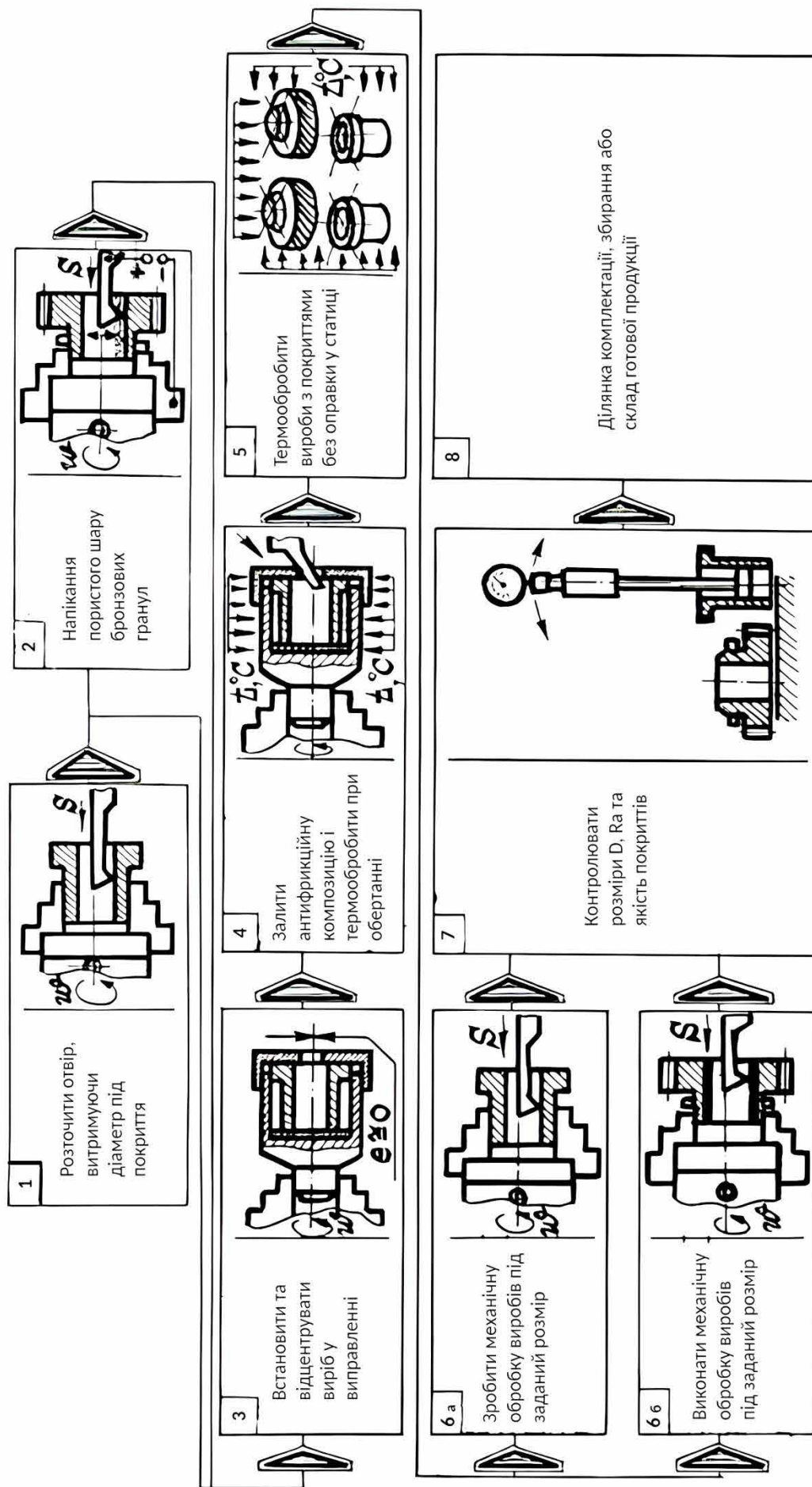


Рис. 5.18. Схема послідовності виконання операцій технологічного процесу нанесення антифрикційного зносостійкого покриття на основі реактопластів на підшипник ковзання

5.2.2 Відновлення посадкових місць підшипників полімерними матеріалами

Надійність машин здебільшого визначається довговічністю підшипникових вузлів, що є найчисленнішими елементами конструкції автомобілів, тракторів, технологічних машин та обладнання. Одною з основних причин відмови підшипникових вузлів є знос посадкових місць підшипників кочення.

Нині у ремонтному виробництві використовують різні способи відновлення зношених посадкових місць підшипників кочення металами або сплавами (різні способи наплавлення, електроконтактне приварювання покриттів, нанесення електролітичних покриттів, електромеханічна обробка тощо). Поряд з перевагами, перелічені способи мають загальні недоліки: складність технологічного процесу, потреба в дорогому технологічному обладнанні, необхідність механічного оброблення поверхонь, що відновлюються, високу трудомісткість, енергомісткість і собівартість. Після відновлення не забезпечується фреттингостійкість покриттів – основна причина зношування посадкових місць підшипників кочення.

Способи відновлення посадкових місць полімерними матеріалами вигідно відрізняються простотою, низькою енергомісткістю та собівартістю.

Дослідженнями встановлено, що застосування сучасних полімерних матеріалів запобігає виникненню фреттинг-корозії, значно підвищує довговічність відновлених нерухомих з'єднань та підшипників кочення.

Хімічна промисловість постійно випускає нові полімерні матеріали, що відрізняються покращеними споживчими властивостями. Це створює передумови розроблення прогресивних ресурсощадних технологічних процесів відновлення, які забезпечують подальше підвищення довговічності підшипникових вузлів машин і різного технологічного устаткування.

Посадкові місця підшипників кочення відновлюють за допомогою полімерних матеріалів двома способами: нанесенням полімерного покриття на посадкове місце підшипника і склеюванням одного з кілець підшипника з посадковою поверхнею деталі, що сполучається.

При відновленні посадкових місць підшипників кочення найбільшого поширення набули еластomers, анаеробні герметики (рис. 5.19) та композиційні матеріали на їхній основі.

Дуже перспективним для відновлення нерухомих з'єднань підшипників є застосування акрилових та ціанакрилатних адгезивів, композиційних матеріалів на їхній основі.

Розроблені технологічні процеси відновлення зношених посадкових отворів у корпусних деталях полімерною композицією на основі анаеробного герметика АН-6В. Для надання необхідних тиксотропних властивостей до складу композиції включений тальк, а для скорочення часу затвердіння – бронзовий порошок.

Склад полімерної композиції: герметик Анатерм-6В – 100 м.год, тальк – 20 м.год, бронзова пудра – 2 м.год.

Відновлення посадкових отворів корпусних деталей під підшипники виконують калібруванням на зношеній поверхні полімерного шару композиції. Для калібрування використовують спеціальні циліндричні оправки. Щоб уникнути осьового видавлювання композиції при введенні оправки в отвір її калібрувальний елемент виконаний розсувним.



Рис. 5.19. Анаеробні герметики АН-6К, АН-6В та акриловий адгезив АН-105

На рис. 5.20 показано схему формування композиту.

Корпусну деталь 1 встановлюють на технологічну базу. Поверхні отворів зачищають до металічного блиску та знежирюють. Потім на них наносять шар полімерної композиції і вводять оправку 3 з розсувними кільцями 4, що знаходяться в стислому стані.

Для запобігання прилипання композиції поверхні кілець оброблених алмазним вигладжуванням до шорсткості Ra 0,1. Перед формуванням кільця змащують тонким шаром олії АКЗп-6. Після введення в отвори кільця розтискають і полімерний шар калібрується. Після затвердіння композиту кільця стискають і оправку виводять з отвору.

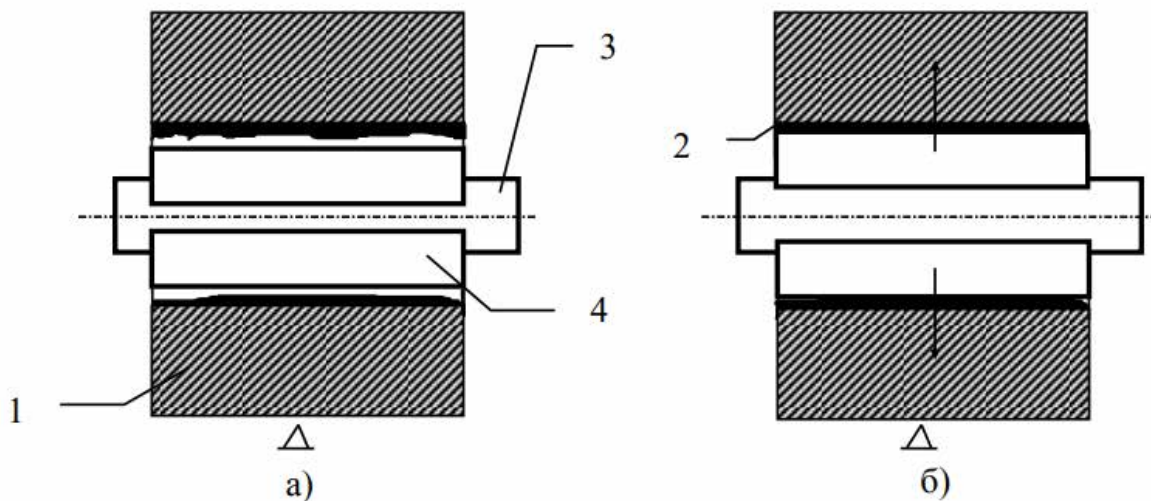


Рис. 5.20. Схема формування полімерної композиції на поверхні зношених отворів корпусних деталей: а) оправлення з кільцями у стислому стані; б) калібрування полімерної композиції кільцями, що розтискаються; 1 – корпусна деталь; 2 – шар полімерної композиції; 3 – оправка; 4 – розсувні півкільця

Розроблено спеціальний пристрій для відновлення підшипникових отворів корпусу коробки передач автомобіля ГАЗ-53 (рис. 5.21).

Пристосування представляє плиту 1, із закріпленими на ній лівою 2 і правою 3 стійками. Кожна стійка має два центри 4, які встановлені в пінолі та центрують качалки 5. За допомогою маховиків 3 нижній центр лівої стійки 2 та верхній центр стійки 3 переміщуються в горизонтальній площині.

Відстань між центрами пристосування становить $100,625+0,05$ мм. Перекіс та непаралельність загальної осі центрів на базовій довжині 250 мм не більш як 0,04 мм.

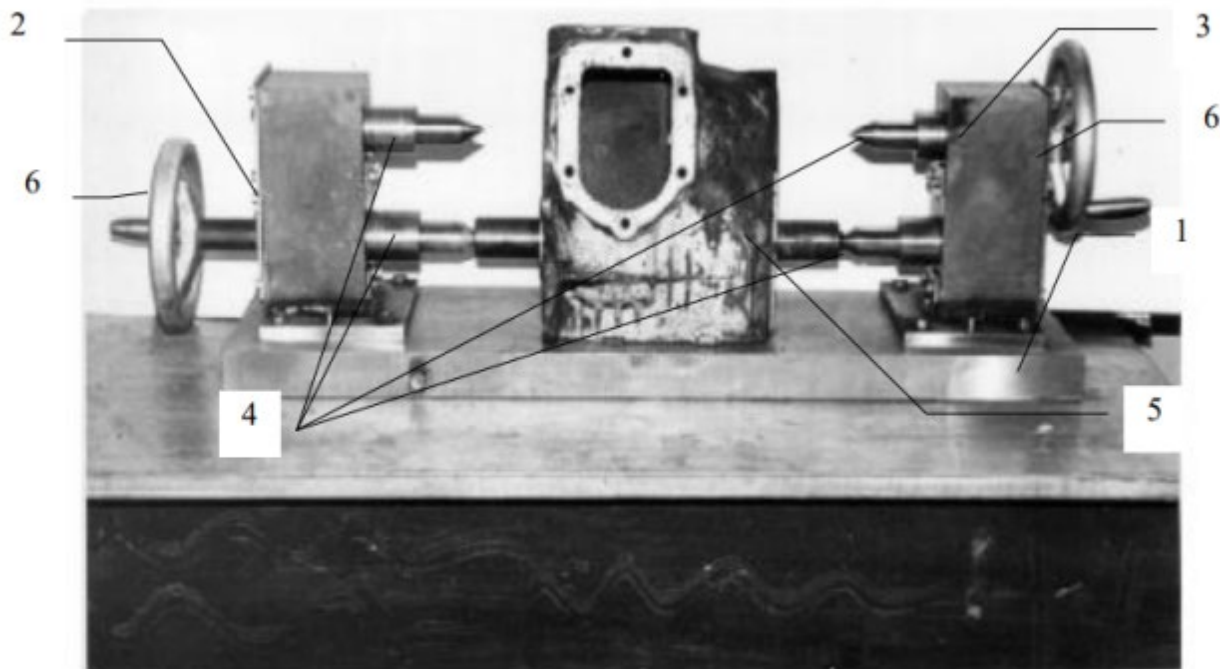


Рис. 5.21. Оснащення для формування підшипникових гнізд з полімерним покриттям у корпусі коробки передач: 1 – плита; 2 – ліва стійка; 3 – права стійка; 4 – центри; 5 – нижня качалка; 6 – маховики

Верхній 2 і нижній центр стійки 3 пружні. Для базування корпусу КП по плиті 1 і осях центрів плита 4 1 забезпечена двома ромбічними технологічними пальцями. Формувальна поверхня оправок виготовлена як півкільця у вигляді цанг. Цанги під час введення у яких конусів розсуваються заданий розмір.

Картер КП із встановленими в отвори качалками 5, цанги яких стиснуті, встановлюють на плиту та поєднують технологічні отвори картера з ромбічними технологічними пальцями. Потім за допомогою маховиків 6 качалки фіксують в центрах 4. Обертаючи маховики 6, можна вводити і виводити качалки з посадкових отворів картера КП. Після нанесення полімерної композиції на поверхні отворів обертаючи маховики робочі частини скалок повільно вводять в отвори та за допомогою пересування конусів їх робочі поверхні розтискаються, калібруючи шар полімеру в заданий розмір. Після затвердіння композиту конуси виводять із

оправок, видаляють качалки обертанням маховиків з відновлених отворів та деталь знімають із пристосування.

Розроблена технологія відновлення посадкових місць полімерними матеріалами ВК-50 та Ф-40. Технологічний процес включає наступні операції: зачистка зношеної посадкової поверхні до металевого шліфувального блиску шкіркою, знежирення посадкової поверхні ацетоном, пошарове нанесення покриття (залежно від діаметра отвору для нанесення покриття) використовують кисті «Поні» № 5...8), затвердіння при температурі $T = 150$ °С протягом 3 годин, контроль якості покриття.

Покриття розчину феноло-каучукового адгезиву ВК-50 забезпечує фретингостійкість і високу довговічність відновлених нерухомих з'єднань.

Еластомір-герметик Ф-40 має високі споживчі властивості. Герметик Ф-40 є продуктом суміщення каучуку марки СКН-40 зі смолою ФКУ на основі заміщеного фенолу вінілацетиленової структури. Покриття із розчину герметика Ф-40 мають високу хімічну стійкість та адгезію до чорних та кольорових металів на рисунку 5.22 показано деталі з посадковими місцями під підшипники, відновленими герметиком Ф-40.

Відмінною особливістю герметика Ф-40 є відносно невисока ціна, яка до 20 разів нижча за вартість анаеробних герметиків.

Відновлення посадкових місць підшипників матеріалами ВК-50 та Ф-40 значно підвищує довговічність підшипників. Стендові випробування показали, що довговічність підшипника 205 з полімерним покриттям ВК-50 склала 165,83 млн об., що у 4,1 раза перевищує розрахункову (40,62 млн об.). Найбільшу довговічність 220,73 млн об. має підшипник із покриттям герметика Ф-40. Це у 5,4 раза перевищує розрахункову довговічність та у 1,31 раза довговічність підшипника з покриттям ВК-50 (рис.5.23).

Розроблені полімерні композиційні матеріали, досліджені перспективні адгезиви: акриловий АН-105 та ціанакрилатний ТК-200, розроблені технології їх застосування при відновленні посадкових місць підшипників кочення. Ефективність технології відновлення еластомірів Ф-40 можна підвищити, якщо збільшити



Рис. 5.22. Підшипниковий щит електродвигуна з посадковим місцем підшипника відновленим герметиком Ф-40

максимально допустиму товщину полімерного покриття, що компенсує зношування. Гранична товщина покриття з еластомеру значною мірою обмежується значенням податливості відновленої опори при радіальному навантаженні підшипника, що впливає на зміщення осей підшипника щодо осі отвору. Для збільшення максимально допустимої товщини полімерного покриття еластомеру та забезпечення при цьому необхідної податливості слід збільшити модуль пружності матеріалу. Ця проблема досліджена та вирішена. Розроблений полімерний композиційний матеріал (ПКМ) на основі еластоміру Ф-40С: еластомір Ф-40С – 100 мас.ч.; алюмінієва пудра ПАП-1 – 16 мас.ч.; бронзовий порошок БПП-1 – 1,8 мас.ч. Введення дрібнодисперсних металевих наповнювачів в еластомір підвищило модуль пружності композиції на 11%, знизило податливість відновлених опор до 1,37 раза, збільшило коефіцієнт теплопровідності у 73,96 раза, підвищило міцність на 10% (рис. 5.24).

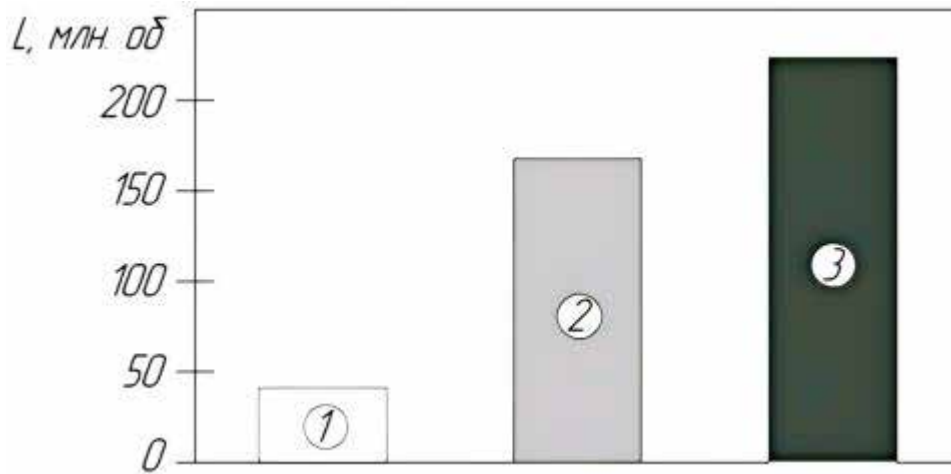


Рис. 5.23. Довговічність підшипника типу 205 при циркуляційному навантаженні зовнішнього кільця: 1 – розрахункова; 2 – при товщині покриття ВК-50 0,09 мм; 3 – при товщині покриття герметика Ф-40 0,125 мм

Зношені нерухомі сполучення типу «вал-підшипник» рекомендується відновлювати адгезивами (рис. 5.25). Технологічний процес фіксації підшипника на валу дуже простий. Спочатку очищають посадкову поверхню від забруднень, потім знежирюють ацетоном, наносять адгезію на одну з поверхонь, що сполучаються деталей з'єднання, збирають з'єднання і витримують до досягнення міцності транспортування. Для забезпечення співвісності деталей, що сполучаються при зносі більш як 0,05 мм використовують центрувальні пристосування.

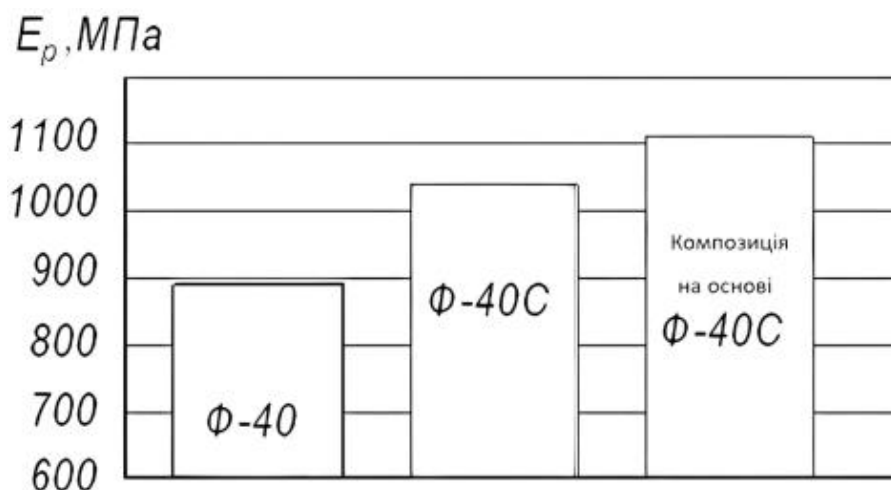


Рис. 5.24. Модуль пружності еластомірів

Температура затвердіння знизилася до 140С, час до 2,5 год. Гранична товщина полімерного покриття, що допускається, збільшилася до 0,125 мм.

ПКМ на основі еластомеру Ф-40С рекомендується для відновлення посадкових отворів під підшипники в корпусних деталях (рис. 5.26).

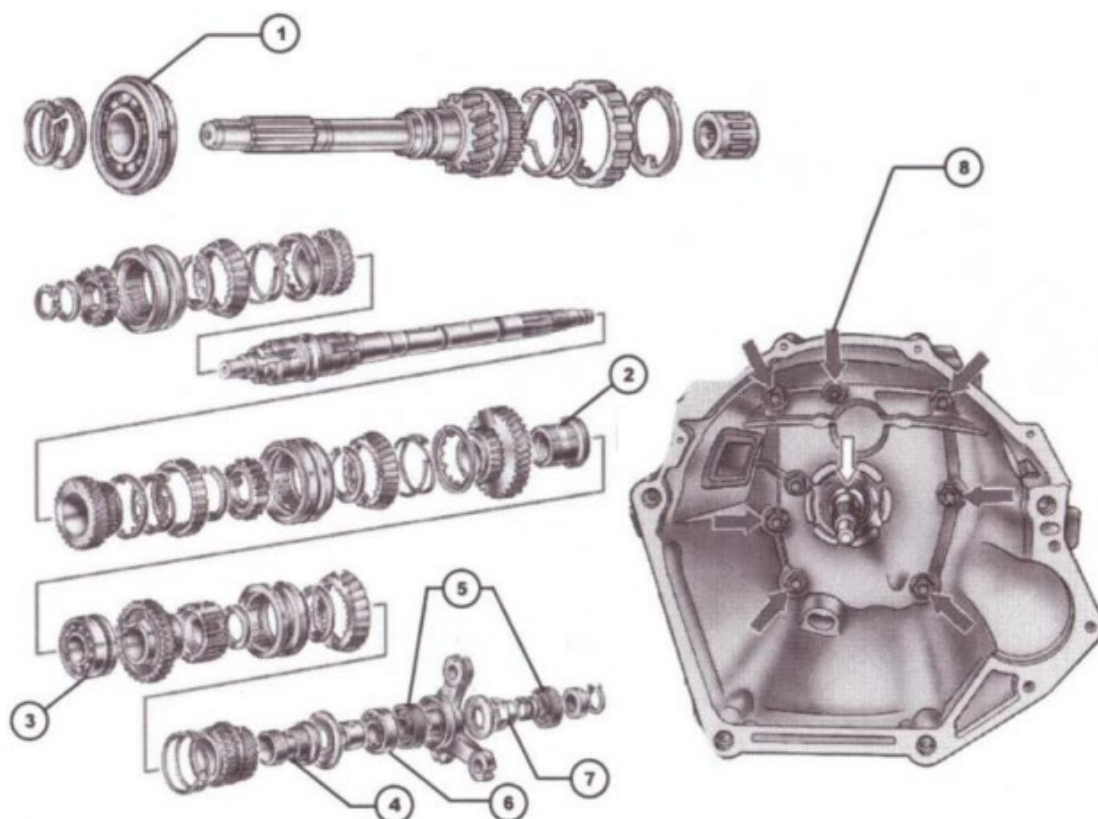


Рис. 5.25. Відновлення нерухомих з'єднань адгезивами в коробці передач: 1 – фіксування підшипника первинного валу; 2 – фіксування втулки шестерні вторинного валу; 3-фіксування підшипника вторинного валу; 4 – фіксування втулки шестерні вторинного валу; 5 – ущільнення та фіксування сальника; 6 -фіксування підшипника вторинного валу; 7 – стопоріння гайки; 8 – стопоріння гайок картера зчеплення

Розроблений ПКМ на основі анаеробного герметика АН-112: алюмінієва пудра ПАП-1 – 12 мас.ч.; бронзовий порошок БПП – 0,35 мас.ч.; анаеробний герметик АН-112 – 100 мас.ч. При введенні дисперсних металевих наповнювачів коефіцієнт теплопровідності ПКМ на основі герметика АН-112 становив $\lambda_k = 10,06 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{К}$, що у 23 рази перевищує коефіцієнт теплопровідності не наповненого герметика АН-112 (рис. 5.27).

У порівнянні з ненаповненим герметиком, при циклічному навантаженні нагрівання нерухомих з'єднань підшипників, відновлених композицією АН-112, суттєво знизився на 12°C . Час затвердіння композиції герметика АН-112 скоротилося до 3,0; 2,0 та 1,0 год при температурах 10; 20 і 40, відповідно. Довговічність

клеєвих сполук ПКМ на основі АН112 до 30% вище порівняно з не наповненим герметиком АН-112, що дозволяє відновлювати нерухомі з'єднання підшипників з великим зносом.

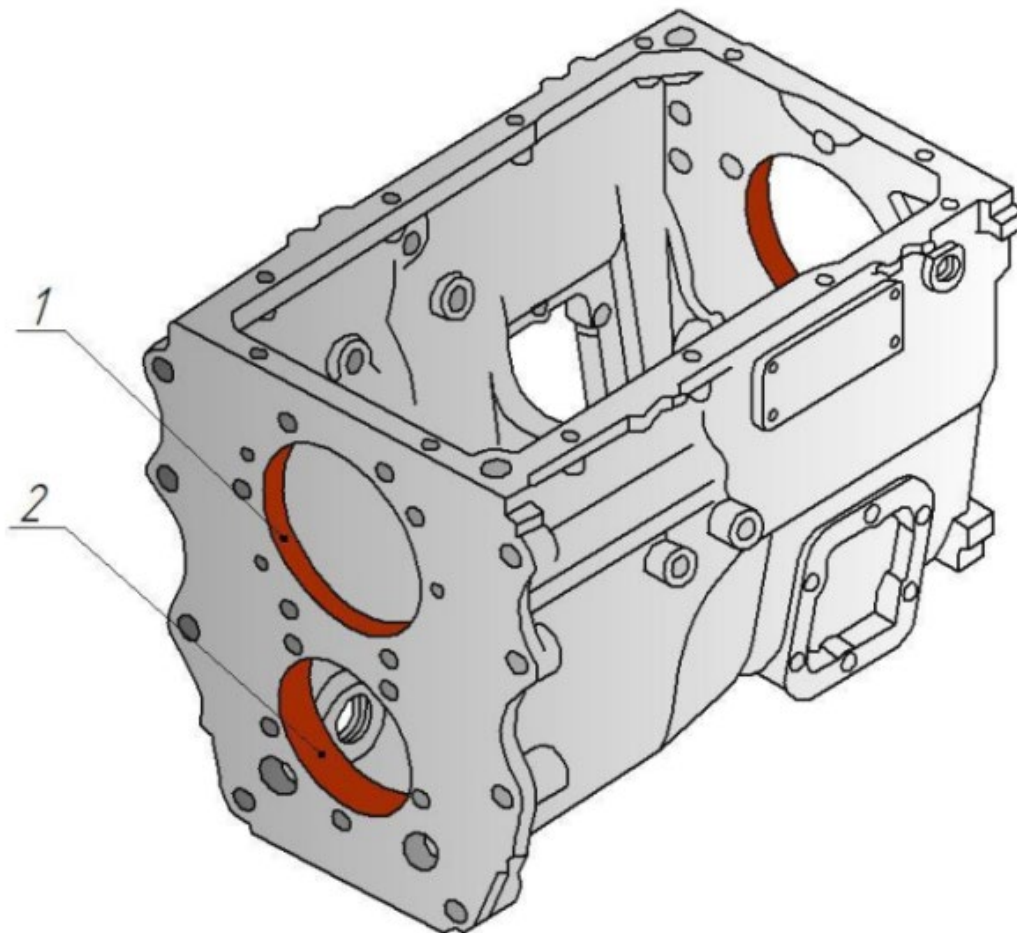


Рис. 5.26. Корпус коробки передач автомобіля КАМАЗ, відновлений ПКМ на основі еластомеру Ф-40С: 1 – полімерне покриття на посадковому отворі під підшипник первинного валу; 2 – полімерне покриття на посадковому отворі під підшипник проміжного валу

Технологічною проблемою при наповненні полімерної матриці дисперсними частинками є забезпечення рівномірності розподілу дисперсних частинок наповнювача за обсягом полімерної матриці дисперсні наповнювачі схильні до агрегації. Вищезгадані недоліки можна виключити введенням у полімерну матрицю, замість дисперсних частинок, розчину еластифікатора. Полімерний композиційний матеріал на основі акрилового адгезиву АН105: акриловий адгезив АН-105 – 100 мас.ч.; еластомер Ф-40 – 12 мас.ч.

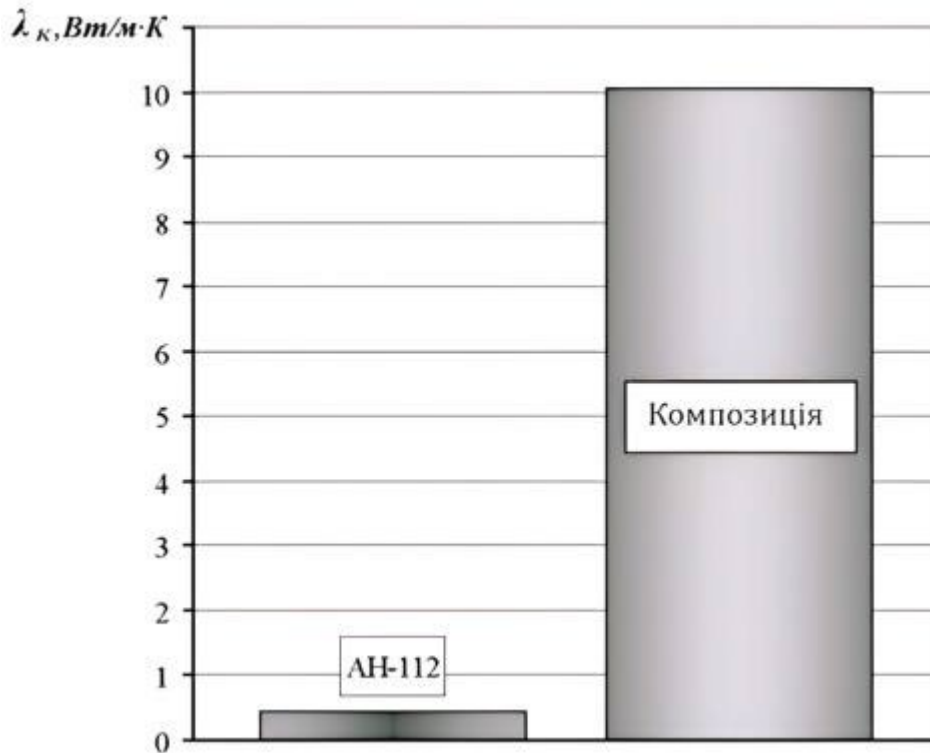


Рис. 5.27. Теплопровідність анаеробного герметика АН-112 та композиції на його основі

Введення розчину еластомеру Ф-40 підвищує деформаційно-міцнісні властивості матеріалу та клейових сполук. Питома робота деформації при розриві плівок композиції з урахуванням адгезиву АН-105 перевищує на 43,9% аналогічний показник не наповненого адгезиву АН-105.

При еластифікації «жорстких» полімерів суттєво знижується теплоутворення у клейовому шві. Температура деталей підшипникового вузла, відновленого композицією на основі адгезиву АН-105 до 7°C нижче порівняно з ненаповненим адгезивом. Підшипниковий вузол, відновлений полімерною композицією на основі адгезиву АН-105 має меншу амплітуду вібрації, завдяки зменшенню модуля пружності при введенні еластифікатора. Амплітуда вібрації підшипникового вузла відновленого композицією з урахуванням адгезиву АН-105 становить 0,974; 0,984 та 0,998 мм при навантаженнях 9,9; 15,8 та 20,0 кН відповідно, що на 4,1; 5,9 та 9% менше, ніж у ненаповненого адгезиву. Довговічність підшипника при відновленні нерухомих з'єднань полімер-полімерною композицією на основі адгезиву АН105 склала при циклічному навантаженні 186,72 млн об., що в 4,4 рази перевищує розрахункову і на 15% вище ніж у ненаповненого полімеру (рис. 5.28).

Дослідженнями встановлено, що час затвердіння композиції становить 3; 2,5 та 2 год при температурах 20; 30 та 40 С, відповідно.

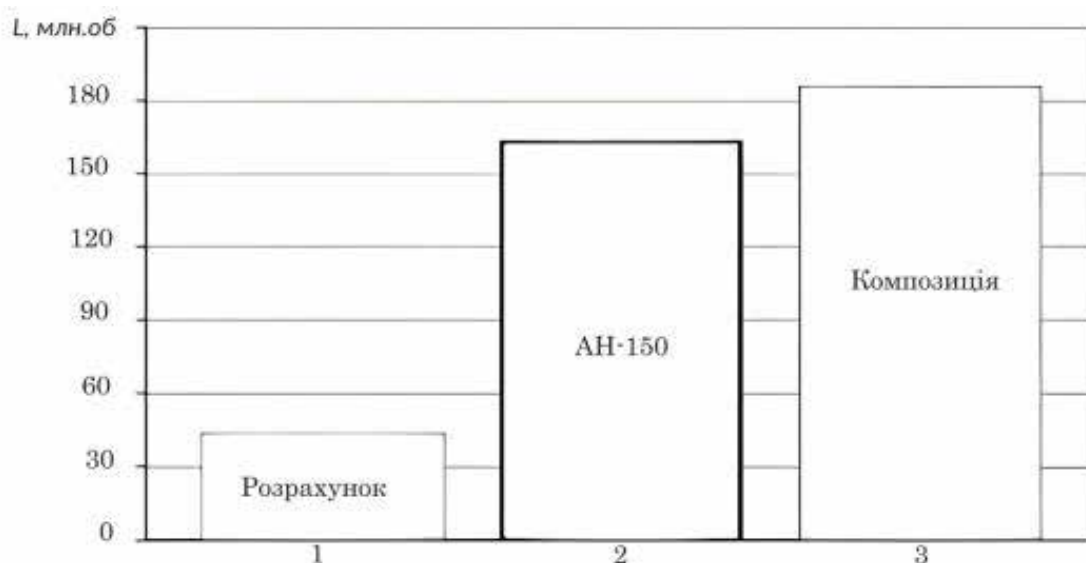


Рис. 5.28. Довговічність L підшипника 209 при циркуляційному навантаженні зовнішнього кільця: 1 – розрахункова; 2 – відновленого акриловим адгезивом АН-105; 3 – відновленого композицією адгезиву АН-105

В результаті узагальнення результатів досліджень розроблено технологію відновлення нерухомих з'єднань підшипників кочення, яка включає наступні операції: зачистка до металевго блиску і дворазове знежирення поверхонь, що підлягають склеюванню, нанесення компонента А герметика АН-105 на поверхню охоплювальної та компонента Б на поверхню охоплюваної деталей з'єднання деталей в центрувальному пристосуванні та обертання однієї деталі щодо сполучається на один оборот в одну, потім в іншу сторони (при цьому забезпечується перемішування компонентів А і Б), затвердіння клейового з'єднання протягом 4 годин при температурі 20 °С (через 1 год можна розібрати центрувальне пристосування, оскільки клейова сполука досягає транспортувальної міцності).

Перспективним є ціанакрилатний адгезив ТК-200. Дослідження показали, що клейові сполуки, виконані адгезивом ТК-200, мають більшу міцність, ніж у сучасних адгезивів. Міцність клейових сполук адгезиву ТК-200 складає 33,3 МПа, що у 2,04 рази більше міцності клейових сполук акрилового адгезиву АН-105 (16,34 МПа) та 1,34 рази – анаеробного герметика АН-111 (24,8МПа).

У підшипнику 209 з клейовим з'єднанням ТК-200 порівняно з підшипником без полімерного шару через збільшення площі контакту навантажених тіл з доріжкою кочення внутрішнього кільця знизилася контактні напруги. У зоні контакту: а) центрального тіла із доріжкою кочення внутрішнього кільця підшипника до 2,0 разів; б) перших бічних тіл із доріжкою кочення до 1,79 раза (рис. 5.29).

Завдяки зниженню контактної напруги довговічність підшипника у з'єднанні «вал-підшипник», виконаним адгезивом ТК-200 збільшилася багаторазово. При циклічному навантаженні довговічність становила 49,95 млн об., що у 3,2 раза перевищує розрахункову (15,6 млн об.), а за статичного навантаження – 53,04 млн об., що у 3,4 раза перевищує розрахункову довговічність.

Порівняно з сучасними анаеробними герметиками АН-111, АН112, акриловим адгезивом АН-105 час затвердіння адгезиву ТК-200, 1,71; 1,11 та 1,67 раза менше і становить 3,5; 2,3 та 1,8 год при температурах 20; 30; 40 відповідно.

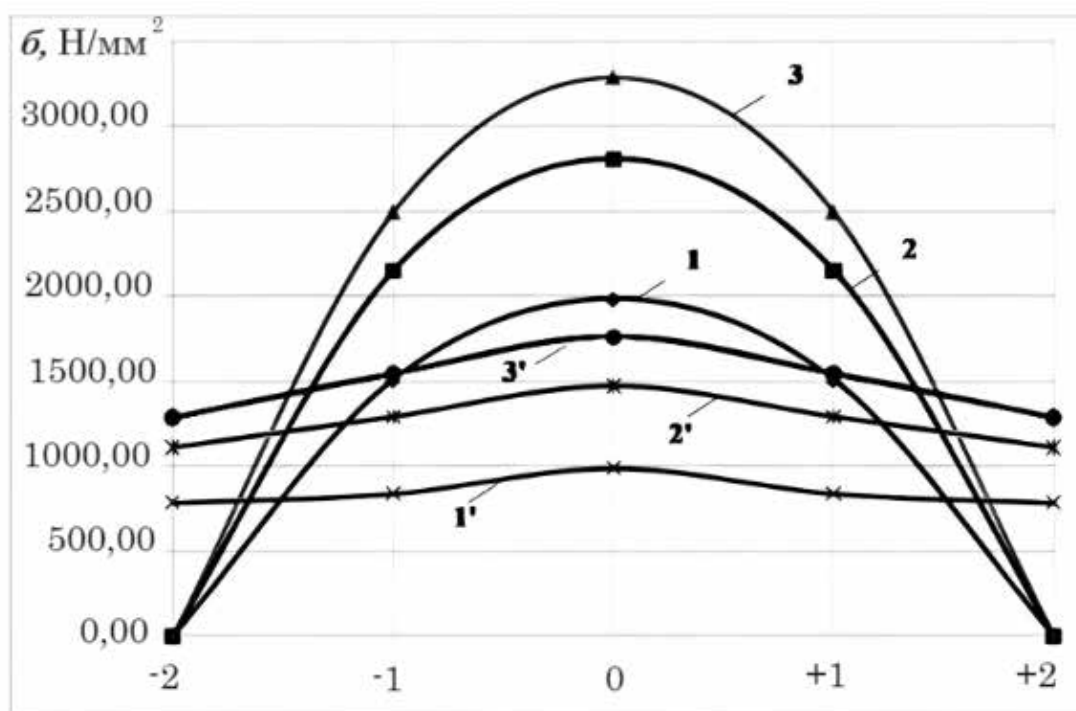


Рис. 5.29. Розподілення контактних напруг у підшипнику 209 з клейовою сполукою ТК-200: 0;1;2 – центральне, перші та другі бічні тіла кочення, відповідно; 1, 2, 3 – розподіл напруг у стандартному підшипнику 209 при радіальному навантаженні $P = 2042; 6127$ та 10212 Н; 1', 2', 3' – розподілення напруг у підшипнику з клейовим швом товщиною 0,05 мм при $P = 2042; 6127$ та 10212 Н відповідно

Технології відновлення нерухомих з'єднань підшипників перспективними полімерними матеріалами дозволяють ефективно відновлювати місця на валах і в корпусних деталях практично всіх типорозмірів. Застосування перспективних технологій відновлення дозволить значно підвищити надійність техніки та знизити витрати на її ремонтування.

5.3. Вибір раціонального способу відновлення деталей

При виборі найбільш раціонального технологічного процесу відновлення деталей слід враховувати ряд вихідних даних: розміри, форму і точність виготовлення деталі, її матеріал, термічну обробку, умови роботи, вид і характер дефекту, виробничі можливості ремонтного підприємства тощо.

Вибір технологічного процесу відновлення деталей залежить від виду дефекту і причини його виникнення. Наприклад, наявність забоїни викликає необхідність зняття концентратора напруження згладжуванням різких переходів. Розгонку можна виконати обробкою забоїни різанням. Іншим прикладом може служити закладення тріщини в сталевій деталі. Тут, як правило, необхідно застосовувати зварювання,

При розробці технології відновлення деталей важливо знати, чи є дефект локальним, тобто чи зачіпає лише невеликий об'єм металу деталі або ж він має загальний характер.

Характерним прикладом є тріщини. Тріщина може з'явитися як наслідок одиничного статичного перевантаження або втоми, що накопичилася. Якщо тріщина з'явилася внаслідок статичного (крихкого) руйнування металу, то дефект охоплює локальний обсяг металу, тобто тільки ділянку появи тріщини. В такому випадку для відновлення можна вдатися до зварювання, забезпечуючи при цьому посилення пошкодженої ділянки (накладення посиленого шва, накладки, поверхневе наклепування тощо).

При виборі оптимального способу відновлення деталей керуватися трьома критеріями: застосовуваності, довговічності і техніко-економічним.

Критерій застосовуваності є технологічним показником, який означає принципову можливість застосування різних способів відновлення щодо конкретних деталей. При цьому повинні бути враховані умови роботи деталі у вузлі. Наприклад, вібродуговим наплавлюванням не можна відновлювати деталі механізмів управління та деталі, що сприймають при роботі великі питомі і динамічні навантаження: колінчаті вали дизельних двигунів, цапфи рульового керування тощо. Потрібно враховувати величину зносу: 0,1 - 0,2 мм можна усувати хромуванням, 0,2 - 0,8 мм – залізненням, 0,3 - 1,0 мм – вібродуговим наплавлюванням, 0,5 - 4,0 мм – наплавленням під шаром флюсу); конструктивні особливості; габарити деталі (наприклад, крупногабаритні деталі наплавляють ручним наплавленням, середні – під шаром флюсу, дрібні, діаметром менш як 50 мм – вібродуговим). Твердість матеріалу, геометричні розміри, їх допуски, точність геометричної форми, шорсткість поверхні повинні відповідати технічним вимогам на відновлення деталі.

Критерій застосовуваності того чи іншого способу відновлення визначається функцією:

$$K_n = f_1(M_\delta; \Phi_\delta; D_\delta; Z_\delta; H_\delta; \sum_{i=1}^m Ti), \quad (5.1)$$

де M_δ – матеріал деталі;

Φ_δ – форма поверхні деталі, яку відновлюють;

D_δ – діаметр поверхні деталі, мм;

Z_δ – знос деталі, мм;

H_δ – значення і характер навантаження;

$\sum_{i=1}^m Ti$ – сума технологічних особливостей способу, які визначають область

його раціонального застосування.

Основний етап передбачає проведення обґрунтування вибору способу відновлення окремих деталей або груп деталей. Водночас здійснюється визначення вірогідності безвідмовної роботи нової або відновлюваної деталі, всіх робочих поверхонь та коефіцієнта відновлення ресурсу деталі в цілому відповідно до залежності:

$$P_d = P_{вп} \prod_{j=z}^m P_j^{\gamma_j}, \quad (5.2)$$

$$K_{вд} = \left[\frac{(-\ln P_{дн})^{K_{вф}}}{-\ln P_{дв}} \right]^{1/b_{в}}, \quad (5.3)$$

де $P_{вп}$ - ймовірність безвідмовної роботи найслабкішої поверхні;

P_j - ймовірність безвідмовної роботи інших поверхонь;

m - число відновлюваних поверхонь деталі;

$P_{дн}, P_{дв}$ - відповідно ймовірність безвідмовної роботи нової та відновленої деталі;

$K_{вф}, b_{в}$ - коефіцієнти відновлення форми й параметрів форми розподілу ресурсу деталі (приймається рівними значенням цих показників для найслабкішої поверхні за результатами прискорених випробувань) відповідно.

За даним критерієм вибирають конкурентні способи для наступної оцінки їх за допомогою інших критеріїв.

Критерій довговічності визначає працездатність відновлюваних деталей. Він виражається через коефіцієнт довговічності, який є відношенням довговічності відновленої деталі до довговічності нової деталі даного найменування.

Коефіцієнт довговічності визначається як функція:

$$K_0 = f_2(k_{зн}; k_в; k_{зч};) \quad (5.4)$$

де $k_{зн}$ – коефіцієнт зносостійкості;

$k_в$ – коефіцієнт витривалості;

$k_{зч}$ – коефіцієнт зчеплюваності (міцності з'єднання).

Чисельні значення коефіцієнтів зносостійкості і витривалості можуть визначатися на підставі стендових і експлуатаційних порівняльних випробувань нових та відновлених деталей або зразків на спеціальних установках або стандартних машинах (машинах тертя, машинах для випробування на втому) і стендах.

Коефіцієнт зчеплюваності визначають як:

$$k_{зч} = i_0 / i_e, \quad (5.5)$$

де i_o – дослідне значення міцності зчеплення нанесеного шару з основним металом для даної деталі, МПа;

i_e – еталонні значення міцності зчеплення, МПа.

Як еталонні можуть бути прийняті наступні значення міцності зчеплення: для зовнішніх сталевих поверхонь, які сприймають значні ударні або знакозмінні навантаження – 50 МПа; для зовнішніх сталевих або чавунних поверхонь, що не сприймають значних ударних або знакозмінних навантажень – 20 МПа; для внутрішніх посадкових поверхонь під підшипники із сталевих, чавунних або з алюмінієвих сплавів, які не сприймають знакозмінні і значні ударні навантаження – 5 МПа; для зовнішніх або внутрішніх сталевих і чавунних поверхонь, що не сприймають значні ударні або знакозмінні навантаження шаром матеріалу, що характеризується пористістю, при роботі в умовах наявності великої кількості мастила – 4 МПа.

Дослідне значення міцності зчеплення нанесеного шару з основним металом визначають методом відриву штифта (краще конічної форми) від покриття.

Виходячи зі специфіки параметра, який розглядають, слід мати на увазі, що значення коефіцієнта зчіплюваності не можуть бути вище одиниці; навпаки, чисельні значення k_{zn} і k_g можуть бути понад одиницю, але в результаті застосування спеціальних покриттів і зміцнювальних операцій можливо забезпечити вищі значення зносостійкості поверхонь і втомної витривалості відновлених деталей, ніж у нових деталей.

Коефіцієнт довговічності тільки в загальному випадку є функцією трьох аргументів, стосовно до конкретних деталей він може бути функцією тільки двох або одного з них. Наприклад, для деталей, що не мають в процесі експлуатації втомних руйнувань, нема потреби обчислювати значення коефіцієнта витривалості (k_g); не має також сенсу поняття коефіцієнт зчіплюваності (k_{zn}) щодо способів, не пов'язаних з нанесенням компенсувального шару металу (механічна обробка, пластичне деформування тощо); в деяких випадках міцність зчеплення нанесеного шару з основним металом настільки висока (наприклад, при механізованому наплавленні під флюсом), що значення k_{zn} можливо апріорно приймати рівним одиниці.

У більшості випадків параметри, що характеризують зносостійкість, зчеплення нанесеного шару та втомну витривалість відновленої деталі, не мають явного зв'язку один з одним. Разом з тим вичерпання ресурсу за якимось параметром, що характеризується одним з розглянутих коефіцієнтів довговічності, слід приймати рівним за значенням того з коефіцієнтів (аргументів), який має мінімальне значення; при цьому, якщо коефіцієнт зчіплюваності $k_{зч} = 1$, а інші коефіцієнти мають ще більше значення, то його значення при визначенні k_d до уваги брати не слід.

Оскільки ресурс відновленої деталі повинен забезпечувати нормативний пробіг того агрегату, в машин і агрегатів), то чисельні значення коефіцієнта довговічності деталі не повинні бути нижче 0,8.

Техніко-економічний критерій є функцією двох аргументів:

$$k_{me} = f(k_{np}; E), \quad (5.6)$$

де k_{np} – коефіцієнт продуктивності способу;

E – показник економічності способу.

Економічний ефект від впровадження розробленого технологічного процесу відновлення деталі:

$$E = [(C_{нб}^e - C_{ни}^e) - E_n(k_i - k_б)]N_e, \quad (5.7)$$

де $C_{нб}^e$ – повна собівартість відновлення за базовим варіантом технологічного процесу, грн.;

$C_{ни}^b$ – повна собівартість відновлення за технологічним процесом, який впроваджують, грн.;

E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень; $E_n = 0,15$;

k_i і $k_б$ – відповідно капіталовкладення за процесами, що впроваджують і базовому (витрати на обладнання, пристосування, технологічне оснащення, інструмент, його проєктування, виготовлення, монтаж за місцем тощо);

N_e – програма відновлення деталей, шт.

Термін окупності від впровадження нової технології визначають за формулою:

$$T_{ок} = \Delta k / [(C_{нб}^b - C_{ни}^b)N_b], \quad (5.8)$$

де $\Delta k = k_i - k_e$ – додаткові капіталовкладення.

Для всіх порівнювальних способів визначаються інтегральні показники $I_{од}$ для деталі загалом і умова доцільності її відновлення вибраним способом:

$$I_{од} = \frac{K_{ВП} Z_{ВД} + (1 - K_{ВП}) Z_H}{K_{ВД} Z_H} \leq 1, \quad (5.9)$$

де $K_{ВД}$ – приведені значення коефіцієнта відновлення деталі (з врахуванням коефіцієнта придатності і виходу придатних деталей в результаті відновлення);

Z_H , $Z_{ВП}$ – витрати на відновлення нової і придбання запасної частини відповідно.

Оптимальним визначають спосіб відновлення, який характеризується мінімальним значенням відповідного інтегрального показника. Не завжди спостерігається накладання оптимального способу відновлення однієї деталі і певної номенклатури відновлюваних деталей. Тоді оптимальні способи визначають за мінімальним значенням інтегрального показника:

$$I_{БР} = \frac{\sum_{i=1}^L N_i K_{ВПi} Z_{ВД} + \sum_{i=1}^L N_i (1 - K_{ВПi}) Z_{ni}}{\sum_{i=1}^L N_i K_{ВДi} Z_{ni}}, \quad (5.10)$$

де N_i – кількість i -х деталей, що підлягають відновленню;

L – кількість найменувань (номенклатура) відновлених деталей.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ремонт машин і обладнання : підручник / О. І. Сідашенко, О. А. Науменко, Т. С. Скобло та ін.; за ред. проф. О. І. Сідашенка, О. А. Науменка. – К.: Аграр Медіа Груп, 2014. – 632 с.
2. Карабиньош С.С. Ремонт машин и оборудования / С.С.Карабиньош, З.В.Ружило. Німеччина, Саабрюкен, Ламберт, 2014.- 149 с.
4. Практикум з ремонту машин. /Сідашенко О.І., Скобло Т.С., Войтов В.А. [та ін.]. За ред. О.І.Сідашенка, О.В.Тіхонова.-Харків: ХНТУСГ, 2007.- 415 с.
7. Ремонт сільськогосподарської техніки: Довід./ За ред. О.І.Сідашенко, О.А.Науменка/ - К.: Урожай, 1992. - 304 с.
9. Балабанов А, М., Канарчук В. Е. Справочник технологии мелкосерийных ремонтных производств / А.М.Балабанов, В.Е.Канарчук. - К.: Выща школа, 1983. - 256с.
10. Канарчук В. Е., Чигринец Д. Д. Техническое обслуживание, ремонт и хранение автотранспортных средств / В.Е.Канарчук, Д.Д.Чигринец.- К.: Высшая школа, 1992.- 495с.
11. Автухов А. К., Мартиненко О. Д., Тіхонов О. В., Бантковський В. А./ Сервісна інженерія. Технічний сервіс в АПВ та ремонт машин [Електронний ресурс]: курс лекцій для підготовки бакалаврів за спеціальністю 208 «Агроінженерія» (3 кредити). – Х.: ДБТУ, 2022. – 135с. -
12. Внуков Ю.Н. Проблемы эффективного внедрения процессов высокоскоростного резания / Ю.Н. Внуков, И.Н. Павлюченко, К.О. Папашев, А.Г. Саржинская // Сучасні технології у машинобудуванні : збірник наукових статей. – Харків : НТУ «ХПІ», 2008. – Т. 1. – С. 43-56
13. Мазур М.П. Основи теорії різання матеріалів : підручник [для вищ. навч. закладів] / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, В.Л. Доброскок, В.О. Залога, Ю.К. Новосьолов, Ф.Я. Якубов ; під заг. ред. М.П. Мазура. – 2-е вид. перероб. і доп. – Львів : Новий світ-2000, 2011. – 422 с.
14. Wit Grzesik Podstawy skrawania materiałów metalowych. – Warszawa : Wydawnictwa Naukowo–Techniczne, 1998. – 382 arc.