

Важливим резервом підвищення ефективності використання техніки та економії матеріальних, паливно-енергетичних і трудових ресурсів у різних сферах економіки є відновлення зношених деталей. В навчальному посібнику викладено теоретичні основи відновлення і зміцнення деталей сільськогосподарської техніки і автомобілів, розглянуто загальний технологічний процес, прогресивні технологічні методи відновлення деталей машин, а також основи проектування технологічних процесів відновлення деталей. Посібник призначений для здобувачів вищої освіти, які навчаються за спеціальностями Н7 (208) «Агроінженерія», J8 (274) «Автомобільний транспорт», G11 (133) «Машинобудування», а також може бути рекомендований фахівцям, що займаються питаннями організації і технології відновлення та зміцнення деталей сільськогосподарської техніки і автомобілів.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ  
ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

# ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН



За редакцією академіка  
Національної академії  
аграрних наук України  
М.І. Черновола

Кропивницький  
2025

ISBN 978-617-8346-50-8



9 786178 346508 >

**Міністерство освіти і науки України  
Центральноукраїнський національний технічний  
університет**

**ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ  
ПРОЦЕСИ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

Навчальний посібник для підготовки  
здобувачів освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр та магістр  
спеціальностей Н7 (208) «Агроінженерія»,  
J8 (274) «Автомобільний транспорт», G11 (133) «Машинобудування»

*За редакцією академіка Національної академії  
аграрних наук України М.І. Черновола*

Кропивницький  
2025

УДК 621.791.92

Рекомендовано Вченою радою  
Центральноукраїнського національного  
технічного університету, протокол № 4  
від 23.12.2024 року

Черновол М.І., Шепеленко І.В., Василенко І.Ф., Красота М.В.,  
Тіхонов О.В., Науменко О.А., Рибалко І.М. Теоретичні основи та  
технологічні процеси відновлення деталей машин. Навчальний  
посібник. – Харків: «Діса плюс», 2025. 347 с.

*Рецензенти:*

**О.В. Диха**, д.т.н., проф., Хмельницький національний університет,  
м. Хмельницький

**В.Д. Войтюк**, д.т.н., проф., Національний університет біоресурсів і  
природокористування України, м. Київ

**Ю.В. Кулешков**, д.т.н., проф., Центральноукраїнський національний  
технічний університет, м. Кропивницький

**ISBN 978-617-8346-50-8**

Викладено теоретичні основи відновлення і зміцнення деталей  
сільськогосподарської техніки і автомобілів, розглянуто загальний  
технологічний процес, прогресивні технологічні методи відновлення  
деталей машин, а також основи проектування технологічних процесів  
відновлення деталей.

Навчальний посібник призначений для здобувачів вищої освіти, які  
навчаються за спеціальностями Н7 (208) «Агроінженерія», І8 (274)  
«Автомобільний транспорт», G11 (133) «Машинобудування», а також  
може бути рекомендований фахівцям, що займаються питаннями  
організації і технології відновлення та зміцнення деталей  
сільськогосподарської техніки і автомобілів.

© Центральноукраїнський національний  
технічний університет, 2025

© Черновол М.І., Шепеленко І.В.,  
Василенко І.Ф., Красота М.В., Тіхонов О.В.,  
Науменко О.А., Рибалко І.М., 2025

## ЗМІСТ

Вступ	5
<b>Розділ 1. Теоретичні засади відновлення деталей машин</b>	6
1.1 Основні характеристики деталей машин: терміни та визначення	6
1.2 Процеси, які відбуваються у деталях машин: дефекти та їхні наслідки	17
1.3 Класифікація методів і способів відновлення та зміцнення деталей машин	34
1.4 Якість відновлених деталей машин	35
1.5 Якість технологічного процесу відновлення деталі	50
1.6 Забезпечення технологічної спадковості при відновленні деталей	56
1.7 Модернізація деталей під час відновлення	61
1.8 Номенклатура деталей сільськогосподарської техніки для відновлення та зміцнення	64
1.9 Розробка стратегії відновлення та зміцнення деталей машин	76
1.10 Оптимальний момент відновлення деталей машин	77
1.11 Допуски на розміри відновлених деталей	81
Контрольні питання до розділу 1	83
<b>Розділ 2. Загальний технологічний процес відновлення деталей машин</b>	84
2.1 Виробничий та технологічний процеси відновлення деталей	84
2.2 Очищення деталей машин	86
2.3 Дефектоскопія деталей машин	93
2.4 Контроль якості відновлених деталей машин	101
Контрольні питання до розділу 2	109
<b>Розділ 3. Технологічні методи, що використовуються при відновленні та зміцненні деталей машин</b>	110
3.1 Зварювання	110
3.2 Наплавлення	134
3.3 Наварювання	153
3.4 Газотермічне напилювання	158



3.5 Електрохімічна та електрофізична обробки	164
3.6 Електричні способи обробки деталей	166
3.7 Відновлення деталей пластичним деформуванням	175
3.8 Електролітичне (гальванічне) і хімічне покриття	199
3.9 Способи відновлення деталей полімерними матеріалами	213
3.10 Слюсарна обробка	227
3.11 Термічна, кріогенна та хіміко-термічна обробки	230
3.12 Лазерна та світлопроменева обробка	234
3.13 Паяння	244
Контрольні питання до розділу 3	255
<b>Розділ 4. Проектування технологічних процесів відновлення та зміцнення деталей машин</b>	257
4.1 Основні етапи розробки технологічних процесів	258
4.2 Вибір способів і технологічних процесів відновлення деталей	262
4.3 Нормативна, технічна і конструкторська документація на відновлення деталей	270
4.4 Технологічна документація на відновлення виробу	277
Контрольні питання до розділу 4	282
<b>Розділ 5. Відновлення та зміцнення типових деталей сільськогосподарської техніки</b>	283
5.1. Відновлення деталей двигунів самохідних сільськогосподарських машин	283
5.2 Відновлення типових деталей трансмісій машин	307
5.3 Відновлення шестерень гідронасосів	315
5.4 Відновлення та зміцнення деталей робочих органів сільськогосподарських машин	318
Контрольні питання до розділу 5	343
<b>Література</b>	344

## ВСТУП

У структурі життєвого циклу сільськогосподарської техніки основну частину витрат становлять витрати на технічний сервіс. Зростання витрат на ремонт призводить до збільшення витрат на придбання запасних частин.

Важливим резервом підвищення ефективності використання техніки та економії матеріальних, паливно-енергетичних і трудових ресурсів у різних сферах економіки є відновлення зношених деталей.

Відновлення деталей є технічно обґрунтованим і економічно виправданим заходом, оскільки дає змогу скорочувати час простою, підвищувати якість технічного обслуговування і ремонту та позитивно впливати на покращення показників надійності машин.

Технічна необхідність відновлення полягає у забезпеченні високої якості деталей, необхідної для підвищення показників надійності відремонтованих агрегатів і машин.

Економічна доцільність відновлення деталей зумовлена насамперед можливістю повторного, у деяких випадках неодноразового, використання 65-75% деталей. Собівартість відновлення деталей становить до 30-50% вартості нової деталі, а витрати матеріалів у 15-20 разів нижчі, ніж під час виготовлення деталей. Відновлення деталей, як правило, виключає екологічно руйнівний і енергоємний металургійний цикл виробництва.

Важливість знань процесів відновлення деталей, розвиток і створення основ технології відновлення та зміцнення деталей машин та потреби практичної діяльності фахівців, що займаються цими питаннями, зумовили необхідність створення цього навчального посібника.

Отже, метою даного навчального посібника є надання знань фахівцям та здобувачам вищої освіти спеціальностей Н7 (208) «Агроінженерія», І8 (274) «Автомобільний транспорт», G11 (133) «Машинобудування» з теоретичних основ відновлення та зміцнення деталей машин, використання прогресивних технологічних методів відновлення, а також проектування технологічних процесів відновлення деталей сільськогосподарської техніки і автомобілів.

# РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

## 1.1 Основні характеристики деталей машин: терміни та визначення

Відповідно до ДСТУ 3321: 2003 **деталь** – виріб, виготовлений з однорідного за найменуванням та маркою матеріалу без застосування складальних операцій. До цього виду виробів відносять і деталі, що мають декоративні, зміцнюючі або захисні покриття незалежно від його виду та товщини, а також отримані із застосуванням місцевого зварювання, паяння, склеювання, зшивання тощо.

В області відновлення деталей, яка є підгалуззю ремонтного виробництва, деталі машин виступають як технічні об'єкти, продукція, вироби, заготовки.

**Технічний об'єкт (об'єкт)** – предмет, що підлягає розрахунку, аналізу, випробуванню та дослідженню в процесі його проектування, виготовлення, застосування, технічного обслуговування, ремонтів, зберігання та транспортування з метою забезпечення ефективності його функціонального призначення.

**Продукція** – це матеріалізований розряд процесу трудової діяльності, отриманий у певному місці за певний інтервал часу і призначений для використання споживачами з метою задоволення їхніх потреб як суспільного, так і особистого характеру.

Продукцією підприємств з централізованого відновлення деталей є відновлені деталі.

**Виріб** – одиниця промислової продукції, кількість якої може обчислюватися в штуках або в екземплярах. В окремих випадках кількість певних деталей (наприклад, кріпильних та ін.) характеризується безперервною величиною, що обчислюється з використанням одиниць маси.

**Заготовка** – предмет виробництва, з якого зміною форми, розмірів, шорсткості поверхні та властивостей матеріалу виготовляють деталі або нероз'ємну складальну одиницю. Як вихідна заготовка при відновленні виступає зношена деталь.

Всю продукцію зазвичай поділяють на два класи: та, що витрачається, і та, що витрачає при використанні свій ресурс. Деталі машин відносяться до другого класу, який, у свою чергу, поділяється на дві групи:

**Вироби, що не ремонтуються** – об'єкти, справність і працездатність яких у разі виникнення відмови або ушкодження не підлягає відновленню;

**Вироби, що ремонтуються** – об'єкти, справність і працездатність яких у разі виникнення відмови або пошкодження підлягає відновленню.

Дуже близькі до наведених поняття невідновлюваних і відновлюваних виробів. Відновлюваність об'єкта розглядають, зазвичай, як реальну можливість відновлення працездатності з урахуванням конкретних ситуацій, що виникають у певному інтервалі часу існування об'єкта, а його ремонтваність для всього часу існування – як принципову можливість відновлення справності чи працездатності об'єкта.

Більшість деталей сільськогосподарської техніки з цих позицій відновлювані та такі, що ремонтуються.

Неремontованими (невідновлюваними) є поршневі кільця, фрикційні накладки гальм і зчеплення, прокладки, ущільнювальні кільця та ін. Такі деталі при ремонті замінюють.

Одні й ті самі зношені деталі в залежності від технічного стану та наявності дефектів можуть бути невідновлюваними, наприклад, вкладиші колінчастого валу або колінчастий вал з тріщинами, і відновлювані – ці ж деталі без тріщин. Деталі можуть переходити з класу в клас через зміну їхньої конструкції, технології виготовлення, застосування принципово нових способів відновлення та ін.

Деталі відносяться до конструктивних елементів машини. Вони мають певну придатність.

**Конструктивні елементи машини** – це деталі, які виконують свої функції в межах допустимих відхилів за якістю та економічністю протягом певного ресурсу чи терміну служби.

**Придатність** (узагальнена характеристика службових властивостей) деталі – відносна здатність і потенційні можливості виконувати свої функції в межах допустимих відхилів за якістю та економічністю протягом оптимального ресурсу або терміну її служби.

Придатність деталі  $E_0$ , що знаходиться у сфері споживання, є функція часу її використання:  $E_0 = F(t)$ ; вона залежить від стану окремих поверхонь (елементів) деталі.

Нова деталь на початку терміну служби в машині має максимальну придатність. Зношені деталі після закінчення служби мають придатність рівну нулю. Придатність деталей можна

періодично поновлювати відновленням окремих параметрів елементів деталі.

За змінами придатності деталі поділяють на чотири групи: 1 – незмінні та неремонтопридатні; 2 – змінні неремонтопридатні; 3 – незмінні ремонтпридатні; 4 – змінні ремонтпридатні.

Перша група – це деталі, які вибувають із процесу споживання машини тільки разом з нею, оскільки їх заміна чи відновлення неможливі або недоцільні.

Друга група – деталі, які за технічними умовами стають непридатними раніше встановленого терміну служби всієї машини, тобто які виходять з ладу протягом деякої частини загального терміну її експлуатації. Але, оскільки машина не може працювати з непридатними деталями, втрачену частину придатності відновлюють в умовах споживання, замінюючи непридатний конструктивний елемент новим. Терміни цієї заміни можуть не залежати від періодичності технічного обслуговування та ремонту машини (наприклад, зміна гуми коліс або пасу вентилятора) і можуть залежати від неї і навіть визначати її (наприклад, заміна поршнів двигуна визначає періодичність його ремонту). Ці терміни заміни можуть бути кратними і некрратними термінам ремонту машини. Крім того, терміни заміни елементів, як і періодичність ремонту машини, можуть поступово скорочуватися в міру її старіння.

Третя група – ремонтпридатні деталі, які не вибраковуються, коли вони стають непрацездатними, а відновлюються і повторно вводяться в машину. При цьому, періодично відновлюється здатність деталей якісно виконувати свої функції протягом середнього ресурсу чи середнього терміну служби машини. Такі деталі виходять з процесу, споживання разом з машиною.

Якщо з якоїсь причини ремонтпридатну деталь не відновлюють, отже, потенційні можливості задовільної роботи в машині після відновлення не використовують, і вона виступає як неремонтопридатна деталь. Вихідна придатність цієї деталі в такому випадку не реалізується; вона переноситься на вироблену машиною продукцію без використання, і собівартість її підвищується.

Четверта група охоплює деталі, які навіть за повної реалізації їхньої ремонтпридатності не витримують середнього ресурсу або середнього терміну служби машини. У цю групу входять багато деталей сучасних машин: колінчасті вали, гільзи циліндрів, розподільні вали, втулки шатунів, головки циліндрів, леміші плугів,



штифти молотильних барабанів, лапи культиваторів, диски сошників сівалок, колінчасті вали соломотрясів, деякі види сегментів різальних апаратів збиральних машин тощо.

Розрізняють кілька різновидів ремонтопридатних замінних деталей.

Деякі деталі відновлюють один раз, при цьому придатність відновлюється повністю, і деталь служить так само довго як нова (наприклад, поршневі пальці двигунів, відремонтовані роздачою та шліфуванням). Повторні ресурси чи терміни служби інших змінних деталей після відновлення скорочуються (леміші плугів при їх повторній відтяжці або автомобільні шини при відновленні накладанням протектора служать менше вихідних зразків).

Ресурс або термін служби відновленої деталі може бути більшим за ресурс або термін служби вихідних зразків. Наприклад, відновлена плунжерна пара після хромування, леміш плуга, якщо його наплавити при відновленні твердим сплавом, служить в кілька разів більше. Повторність зміни ремонтопридатної деталі може бути частішою (леміш плуга) і менш частою (колінчастий вал двигуна, диски сошників сівалок), а також кратною середньому ресурсу або середньому терміну служби машини до списання чи не бути такою.

Протягом свого «життя» деталь машини як технічний об'єкт проходить кілька етапів і бере участь в основних та допоміжних процесах (рис. 1.1) (транспортуванні, зберіганні, сортуванні та ін.). Одна зі стадій («відновлення») є окремо функціонуючою системою, в рамках якої виконуються такі процеси: оцінка стану деталей, проектування технологічних процесів відновлення, безпосередньо відновлення деталей. Ефективність і тривалість роботи машини значною мірою залежить від належного догляду за її деталями та своєчасного їх відновлення.

У період свого життєвого циклу деталь машини може перебувати в різних станах. Перехід деталі з одного стану в інший відбувається в результаті певної події. Взаємозв'язок станів і подій деталі показано на рис. 1.2.

**Справним** називається стан деталі, при якому вона відповідає всім вимогам нормативно-технічної та (або) конструкторської документації.

**Несправним** називається стан деталі, при якому вона не відповідає хоча б одному з вимог нормативно-технічної та (або) конструкторської документації.

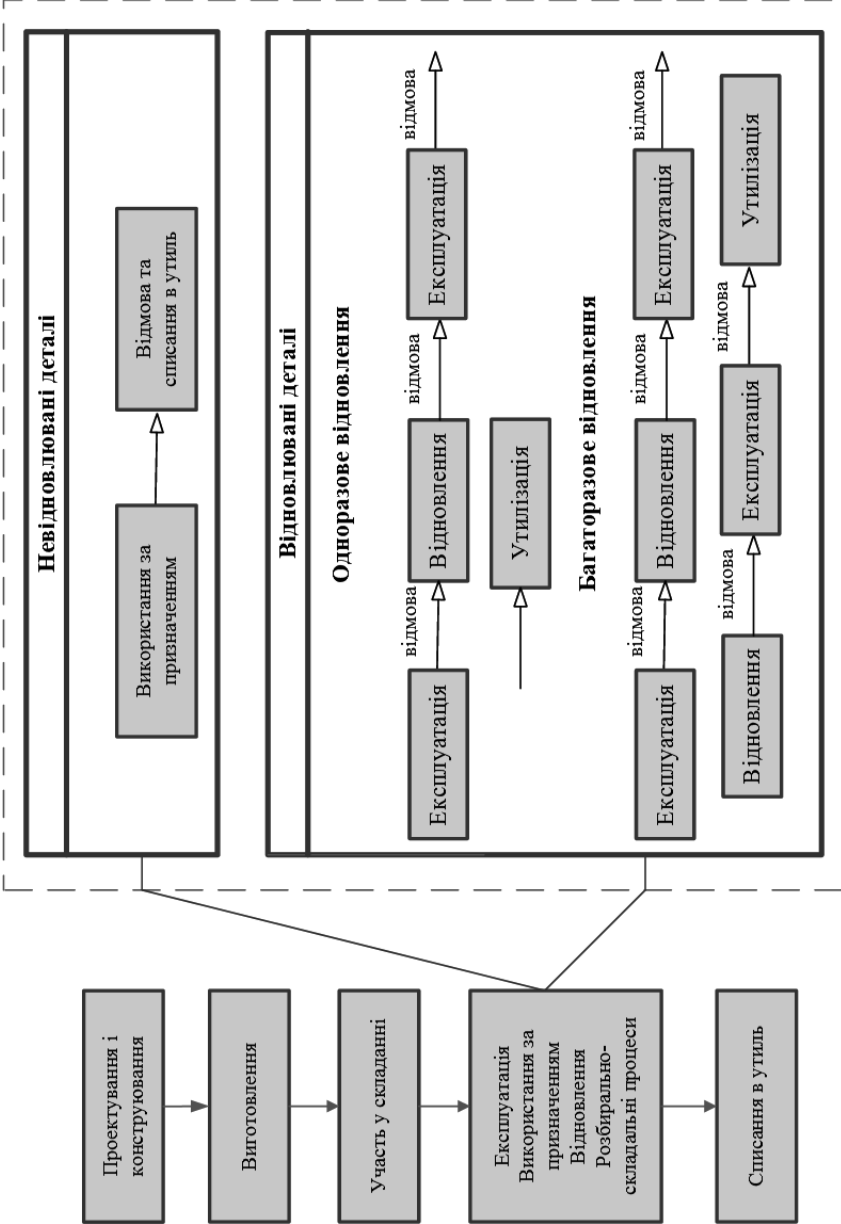


Рис.1.1 – Основні процеси (етапи) життєвого циклу деталей машин

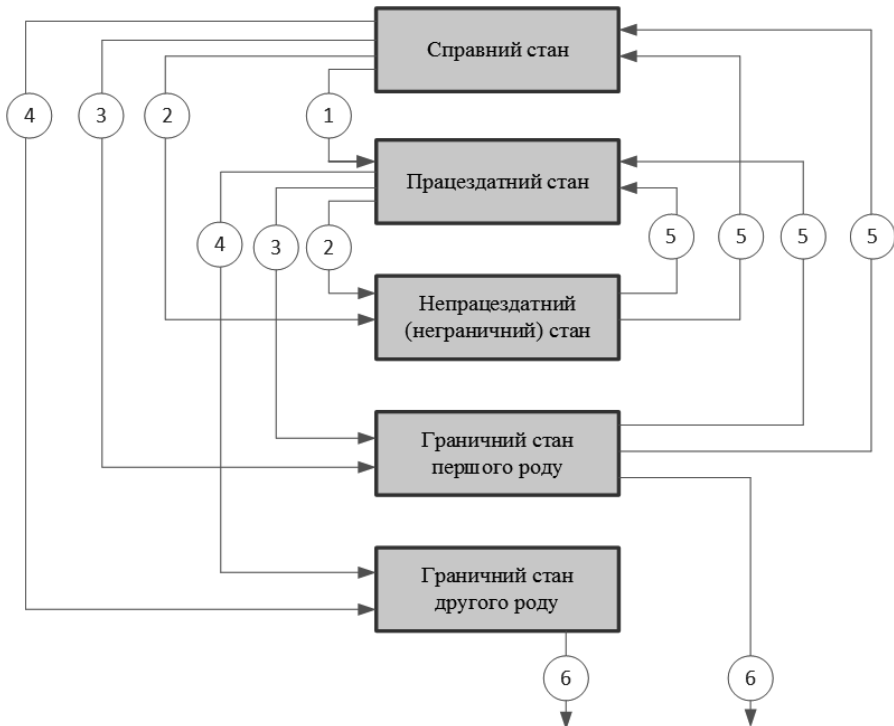


Рис. 1.2 – Взаємозв'язок станів та подій для деталі (перелік подій):  
 1 – пошкодження; 2 – відмова; 3 – перехід у граничний стан першого  
 роду; 4 – перехід у граничний стан другого роду; 5 – відновлення  
 деталі; 6 – списання деталі в утиль

**Працездатним (працездатністю)** називається стан деталі, при якому значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати задані функції, відповідають вимогам нормативно-технічної та (або) конструкторської документації.

**Непрацездатним** називається стан деталі, при якому значення хоча б одного параметра, що характеризує здатність виконувати задані функції, не відповідає вимогам нормативно-технічної та (або) конструкторської документації.

**Граничним** називається стан деталі, при якому її подальше застосування за призначенням неприпустимо чи недоцільно, або ж відновлення її справного або працездатного стану неможливе або недоцільне.

Граничний стан деталей може бути двох видів: при досягненні граничного стану першого виду потрібна відправка об'єкта на відновлення, і єдине обмеження пов'язане з економічною доцільністю відновлення; для другого виду граничного стану відновлення деталі в принципі неможливе – її списують у брукт. Наприклад, відновлення деталей технічно неможливе у таких випадках: втрата міцності внаслідок незворотних явищ утоми, старіння та міжкристалічної корозії металевих матеріалів; старіння деталей з полімерних матеріалів та ін.

Списувати деталі в брукт можна внаслідок їх морального зносу, тобто коли відновлення деталі можливе, але машина або агрегат, куди входить ця деталь, зняті з експлуатації як морально застарілі, або деталь у конструкції машини замінена іншою.

**Пошкодження** – подія, що полягає у порушенні справного стану деталі за збереження її працездатності.

**Відмова** – подія, що полягає у порушенні працездатності деталі. Класифікація відмов деталей наведено у табл. 1.1.

**Технічний ресурс (ресурс)** – напрацювання деталі від початку її експлуатації або після відновлення до переходу в граничний стан.

**Напрацювання** – тривалість чи обсяг роботи об'єкта.

Працездатність або справність деталей машин характеризується **параметрами технічного стану**, які можна кількісно виміряти. Розрізняють структурні та діагностичні стани машин.

**Структурні параметри** (знос, розмір деталі, фізико-механічні властивості матеріалу) безпосередньо обумовлює технічний стан деталей сільськогосподарських машин.

**Діагностичні параметри**, використовувані для визначення технічного стану машин (температура, шум, вібрація, ступінь герметичності, тиск, витрата оливи, параметри руху деталей та інші), переважно опосередковано характеризують структурні параметри деталей машин. У випадках, коли структурний параметр визначається в процесі діагностування прямим вимірюванням, він одночасно виступає як діагностичний параметр.

Структурні параметри деталей також можна розділити на дві групи: ресурсні та функціональні параметри.

**Ресурсним** називається параметр, вихід якого за граничне значення обумовлює втрату працездатності деталі в силу вичерпання ресурсу. До них належать передусім зноси.

Таблиця 1.1 – Класифікація відмов деталей

№ п/п	Ознака поділу	Відмова
1	Характер зміни параметра до виникнення відмови	Раптовий; поступовий
2	Зв'язки з іншими відмовами	Незалежний; залежний
3	Можливість подальшого використання після виникнення відмови	Повний; частковий
4	Характер усунення відмови	Стійкий; самоусунутий; збій
5	Наявність зовнішніх проявів	Очевидний (явний); прихований (неявний)
6	Причина виникнення: а) при конструюванні – помилка конструктора, недосконалість прийнятих методів конструювання б) при виготовленні або відновленні – порушення прийнятої технології, недосконалість технології в) при експлуатації – порушення правил експлуатації; зовнішні впливи, не властиві нормальній експлуатації	Конструкційний  Технологічний  Експлуатаційний
7	Природа походження	Природний; штучний (спричинений навмисно)
8	Час виникнення відмов	Виникаючий при випробуваннях (припрацювальний); в період нормальної експлуатації

**Функціональним** називається параметр, вихід якого за граничне значення обумовлює втрату працездатності або несправності деталей.

Відновлюючи деталь, відновлюються функціональні (тобто відновлюється справність або працездатність) та ресурсні (тобто



відновлюється технічний ресурс) параметри до вимог нормативно-технічної документації.

**Відновлення деталі** – комплекс операцій відновлення справного або працездатного стану деталі та її технічного ресурсу.

**Зміцнення деталей** – підвищення опору матеріалу або заготовки руйнуванню чи залишковій деформації.

Оскільки проблема відновлення деталей носить комплексний характер, для її вирішення необхідний **системний підхід**, який являє собою методологічну орієнтацію вивчення, яка ґрунтується на розгляді об'єктів як **систем**, тобто сукупності елементів, що взаємодіють і внаслідок цього виступають як єдине ціле по відношенню до навколишнього середовища.

Деталь як об'єкт проектування чи відновлення відповідає всім вимогам поняття системи. Вона має цілісність і складається з взаємопов'язаних частин. Функціональні та структурні частини її можна розглядати як підсистеми, а поверхню – як елементи (тертя, опорні, кріпильні та сполучні поверхні, між якими існує певний зв'язок). Число структурних складових залежить від типу та складності конструкції деталі, її призначення, тобто деталь-система може ділитися на підсистеми або на елементи. Приклад ієрархічної структури деталі (ведучої шестерні гідронасосу) показано на рис. 1.3 та 1.4.

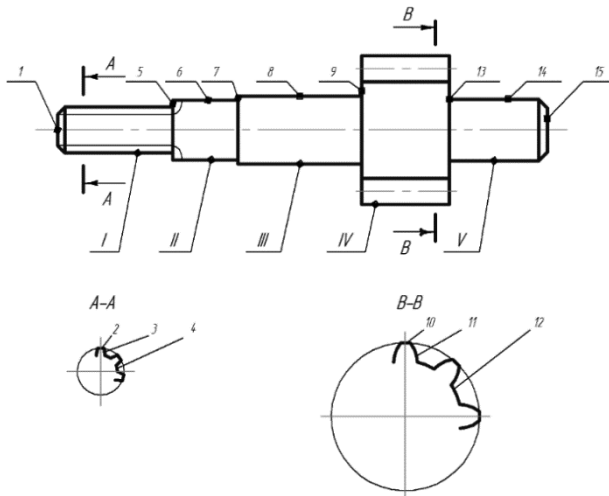


Рис. 1.3 – Структура конструкції деталі: I-V – функціональні, структурні частини деталей; 1-15 – поверхні деталі



Рис. 1.4 – Схема ієрархічної структури деталі

Прикладом централізованої системи є деталь. У такій системі одна з підсистем (або один з елементів) головна, її роль для встановлення стану всієї системи більш значна, ніж вплив інших підсистем. Основні елементи деталі – спряжені поверхні.

Часто поверхні деталей, які входять у контакт або взаємодію з активним середовищем (грунтом, рослинною масою тощо), є дефектними, що зумовлює необхідність їх відновлення.

Багато деталей являють собою відновлювані системи багаторазової дії (тривалого використання), оскільки у процесі експлуатації підлягають відновленню після кожної відмови. Маючи властивості системи, деталь, у свою чергу, є підсистемою (елементом) складальної одиниці, вузла, агрегату, машини або технологічного процесу відновлення.

Деталь загалом та окремі її поверхні (елементи) характеризуються рядом показників (табл. 1.2).

Деякі характеристики деталей машин та їх поверхонь слід розглядати як основні критерії працездатності. До них насамперед відносяться міцність (об'ємна і поверхневих шарів), жорсткість (власна та контактна), зносостійкість, для деяких деталей – теплостійкість, а також корозійна та хімічна стійкість.

**Міцність** – властивість матеріалу протистояти при тих чи інших впливах руйнуванню та утворенню залишкових деформацій. Зміна форми та розмірів деталей унаслідок залишкових деформацій тягне за

собою порушення нормальної взаємодії частин машини, зміна необхідного характеру з'єднання деталей і тощо.

Таблиця 1.2 – Характеристика деталі та її поверхні

Характеристика деталі	Характеристика поверхні деталі
Геометрична форма	Геометрична форма
Габаритні розміри	Розміри
Функція, що виконується	Фізико-механічні властивості
Число поверхонь	Структура матеріалу
Матеріал	Якість поверхні
Міцність	Квалітет точності
Жорсткість	Корозійна та хімічна стійкість
Теплостійкість	Зносостійкість

**Жорсткість** – властивість деталей протистояти при тих чи інших впливах виникненню пружних переміщень. У багатьох випадках експлуатаційні якості машини визначаються ступенем жорсткості окремих деталей і вузлів. Так, недостатня жорсткість деяких деталей передач (наприклад, валів, шестерень) призводить до нерівномірного розподілу навантаження по довжині контактних ліній зубів. В особливо несприятливих випадках з цієї причини можливі поломки зубів. При згинанні валу його опорні ділянки (цапфи) викришуються в вальниках, що порушує нормальну експлуатацію останніх: спостерігається нерівномірне та підвищене спрацювання вкладишів; нагрівання та заїдання у вальниках ковзання; погіршення умов роботи та зниження довговічності вальниць.

Для нормального функціонування багатьох машин важливо забезпечити певний температурний режим роботи їх деталей. Такі вимоги виникають у випадках, коли в процесі експлуатації машини в результаті тертя мають місце значні втрати потужності, що супроводжуються значним тепловиділенням, або коли можлива зміна температури середовища. Властивість конструкцій зберігати працездатність у заданому температурному режимі називають **теплостійкістю**.

**Зносостійкість** – властивість матеріалу чинити опір зношуванню в певних умовах тертя, що оцінюється величиною зворотною швидкості або інтенсивності зношування.

**Корозійна стійкість** – здатність металу чинити опір корозійному впливу середовища. Вона визначається якісно і кількісно (швидкістю корозії в даних умовах, групою або балом стійкості за прийнятою шкалою).

**Якість поверхні і точність деталей** машин переважно характеризуються геометричними параметрами (макрогеометрією, хвилястістю, шорсткістю, напрямом штрихів обробки, точністю взаємного розташування елементарних поверхонь та інших.); фізико-механічними (наклепом, залишковими напруженнями) та фізико-хімічними властивостями поверхневого шару деталей.

## 1.2 Процеси, які відбуваються у деталях машин: дефекти та їхні наслідки

При експлуатації машини в ній протікають робочі, допоміжні та руйнівні процеси.

Робочими називаються корисні процеси, що визначають функціонування машини загалом, її агрегатів, вузлів та деталей. До допоміжних відносять такі процеси, які сприяють здійсненню робочих процесів (наприклад, процеси мащення, охолодження тощо). Руйнівні процеси обумовлюються різними формами енергії: механічної, електричної, хімічної, електромагнітної, анігіляційної. Коли мова йде про деталі, інтерес викликають процеси, що проходять в металах і полімерах.

Різні види енергії, впливаючи на виріб, викликають у його вузлах і деталях процеси, що знижують початкові параметри та пов'язані, як правило, зі складними фізико-хімічними явищами, які призводять до деформації, зносу, поломки, корозії та інших видів ушкоджень. Це, в свою чергу, тягне за собою зміну вихідних параметрів виробу, що може призвести до відмови. Зазначені взаємозв'язки спрощено можна виразити схемою, зображеною на рис.1.5.



Рис.1.5 – Схема процесу виникнення відмови в деталі

Аналізуючи відмови деталей машин під час експлуатації, можна назвати такі причини виходу з ладу:

руйнування – втрата форми, деформація, злам (утомний, крихкий, в'язкий), контактні втомні ушкодження, пластичне охрупчування і відшаровування, схоплювання, тріщиноутворення і фарбування;

зношування – механічне (абразивне, гідроерозійне, гідроабразивне, втомне, кавітаційне), молекулярно-механічне (заїдання) та корозійно-механічне (окислювальне, при фреттингу, фреттинг-корозії, електроерозійне).

Довговічність деталей визначається їх міцністю, жорсткістю та зносостійкістю. Забезпечення міцності та жорсткості найповніше досягається при проектуванні деталей та конструкцій. Важче забезпечити необхідний рівень зносостійкості. Слід суворо дотримуватись правил технологічної дисципліни виготовлення та ремонту деталей, а також технічної експлуатації. Необхідно своєчасно компенсувати знос поверхонь, що труться, і проводити необхідне регулювання деталей машин і механізмів.

У ряді випадків підвищене зношування деталей відбувається при нерегулярному технічному обслуговуванні. Так, внаслідок підтікання палива та мастила зростає забрудненість поверхонь деталей автотракторних двигунів. Внаслідок несправності регуляторів паливних насосів підвищується частота обертання колінчастого валу, що призводить до його ушкодження, а також до ослаблення нарізних кріплень деталей. Крім того, підвищене зношування деталей відзначається і через надмірне забруднення ротора центрифуги. Істотний вплив на довговічність деталей має якість матеріалу, з якого вони виготовлені або за допомогою якого відновлено їх геометричні розміри. Насамперед необхідно правильно вибрати матеріал для нарощування шару, забезпечити необхідну його структуру та фізико-механічні характеристики (електричні, магнітні властивості, розподіл хімічних елементів та спеціальних фаз, рівень міцності, пластичності, в'язкості та твердості, схильність до релаксації та локалізації напружень, стабільність фаз складу та ін).

Важливу роль відіграють експлуатаційні та конструктивні фактори. Більшість деталей (до 70%) піддається дії знакозмінних навантажень. Близько 75% циліндричних поверхонь мають



концентратори напружень: галтелі, пази під шпонки, кільцеві канавки, нарізи, лиски, отвори.

Основні види пошкодження деталей наведено у табл. 1.3. Ці дані оцінюють причини виходу деталей з експлуатації і характер дефектів, що виникають.

Таблиця 1.3 – Характерні види пошкодження деталей машин при експлуатації

<b>Вид пошкодження</b>	<b>Найменування деталі</b>	<b>Характер ушкодження</b>	<b>Причини виходу деталей з експлуатації</b>
1	2	3	4
<b>1. Руйнування</b>			
Втомний злам	Вали, осі, шатуни, болти	Утворення втомних тріщин. Поверхня зламу складається із зон повільного, прискореного розвитку тріщин та зони долому.	Дія знакозмінних навантажень, циклічних температурних напружень. Незадовільна міцність матеріалу, наявність дефектів металургійного походження (наявність концентраторів напружень)
Крихкий злам	Корпусні деталі, пальці, болти, фасонні деталі, виготовлені з твердих сплавів, сталей і чавунів	При невеликій деформації злам має кристалічну будову (переважно транскристалітну руйнацію)	Ударні навантаження, низька якість металу, дефекти термічної обробки

Продовження табл. 1.3

1	2	3	4
В'язкий злам	Болти, пальці	Супроводжується значною деформацією. Злам матовий, волокнистий (чашкова будова, за межами зерен)	Перевантаження під час експлуатації
Втрата форми (залишкова деформація)	Болти, вальниці	Зміна геометричної форми деталі (вигин, вм'ятини, зминання нарізі та ін.)	Дія змінних контактних, розтягуючих або стискаючих напружень, підвищених температур
Контактні втомні ушкодження	Зубчасті передачі, вальниці	Виникнення на контактних поверхнях дрібних віспоподібних вищербувань	Високі контактні напруження і низька міцність матеріалу
Деформація (повзучість)	Труби паропроводів	Повільна і безперервна пластична деформація	Нагрівання вище температури рекристалізації, напруження в матеріалі вище межі пружності
Пошкодження поверхні	Деталі будь-якого сполучення або вузла	Забойни, вм'ятини, ризики, місцевий наклеп та відшаровування	Порушення умов експлуатації, руйнування деталі, потрапляння абразиву

Продовження табл. 1.3

1	2	3	4
Тріщини (втомні, термічні, надриви)	Деталі вузла, сполучення, що працюють при знакозмінних навантаженнях і підвищених температурах	Порушення суцільності поверхневого шару, що призводить до його відшаровування, викришування	Дія високих знакозмінних напружень, різке охолодження деталей, недостатнє надходження мастила, високих, одноразово доданих напружень
2.3ношування 2.1.Механічне			
Стирання механічних пар (контактна взаємодія)	Вальниці, поршневі кільця, втулки, вали, осі	Поступова зміна геометричних розмірів	Тривале тертя сполучених поверхонь
Абразивне	Деталі гусениць тракторів, екскаваторів, робочі органи машин, що працюють безпосередньо в ґрунті	Зміна геометричних розмірів. На поверхні тертя є риси, напрямом яких відповідає руху абразивних частинок	Взаємодія абразивних частинок з поверхнею деталі
Кавітаційне	Трубопроводи, робочі колеса насосів, деталі, що піддаються водяному охолодженню	Поява на поверхні глибоких піттингів, які зливаючись, утворюють макро-ушкодження	Дія рідини при високих швидкостях руху деталі

Продовження табл. 1.3

1	2	3	4
Гідроабразивне (газоабразивне)	Робочі колеса, корпуси, деталі насосів	Взаємодія поверхні з твердими частинками водяного або газового потоку.	Утворення хвиль рисок, спрямованих відповідно перпендикулярно та вздовж потоку Пластичне деформування поверхневих шарів
Гідроерозійне	Робочі поверхні корпусів насосів	Ерозія поверхневого шару. Відшаровування та фарбування матеріалу	Механічний вплив потоку рідини чи газу
2.2. Молекулярно-механічне			
Заїдання	Деталі складальних одиниць, що сприймають великі питомі тиски	Адгезія, глибинне виривання частинок металу з поверхонь, що контактують	Взаємодія третьових поверхонь в умовах тертя без оливи або при граничній оливі
2.3. Корозійно-механічне			
Окислювальне	Вали, цапфи	Поступове насичення поверхневих шарів киснем та утворення неупорядкованих твердих розчинів та евтектик хімічних сполук його з металом	Взаємодія поверхонь при взаємному тяжінні та переміщенні рухливих шарів, що окислюються

Продовження табл. 1.3

1	2	3	4
Фреттинг, фреттинг-корозія	Болтові та заклепувальні з'єднання, вальниці, шестерні, муфти та інші деталі, що знаходяться в рухомому контакті	Виникнення на контактних поверхнях корозійних пошкоджень у вигляді окремих плям або смуг невеликої глибини	Безперервне руйнування захисної плівки у точках
Електроерозійне	Електроди свічок, колектори генераторів, контакти переривників, струмопровідні деталі	Механічне деформування поверхні та руйнування зерен металу	Вплив розрядів при проходженні електричного струму

Істотний вплив на зародження та розвиток ушкоджуваності мають і дефекти литої структури, прокатного та кованого металу, а також виникають при різних видах обробки.

До дефектів, що найчастіше зустрічаються, відносяться:

✓ у литій заготовлі – гарячі та холодні тріщини, газові та усадкові раковини, пористість та пухкість, спаї, полони, ліквіаційні зони, скупчення неметалевих включень;

✓ у прокаті та поковці – закати, надриви, розшарування, волосовини та флокіни;

✓ при термічній та механічній обробці – гартувальні та шліфувальні тріщини, надриви, задираки;

✓ при відновленні деталей різними видами наплавлення – шлакові включення, пори та раковини, непровари, тріщини та надриви у шві та перехідній зоні.

При терті відбуваються суттєві зміни у металі поверхневого шару деталей. У зв'язку з цим цікавить оцінити фізико-хімічні

процеси, що відбуваються при зношуванні, та їхній вплив на ушкоджувальність і руйнування.

Зношування є незворотним монотонним процесом і характеризується залежністю

$$U = \int_0^t V(t) dt,$$

де  $V(t)$  – швидкість зношування в момент часу  $t$ .

Середні функції  $U_{сер}$  окремих деталей описуються різними кривими. Класична форма кривої зносу включає три ділянки – припрацювання, усталеного (нормального) і посиленого.

У період припрацювання змінюється геометрія поверхні тертя, її фізико-хімічні властивості, особливо в початковий період тертя. Цей період характеризується змінною швидкістю зношування. Зі збільшенням часу роботи сполучення вона зменшується до значення, що відповідає другому періоду, – усталеному зносу.

Тривалість періоду припрацювання визначається початковою шорсткістю поверхні, матеріалом деталі, питомими тисками та іншими факторами. Однак, це не означає, що при меншій шорсткості вихідної поверхні скоротиться період припрацювання. У ряді випадків як при невеликій, так і при значній шорсткості знос може зростати. Зменшення зносу найчастіше досягається зниженням питомих тисків та поліпшенням змащення поверхні.

У період припрацювання видаляється пошкоджений шар металу, сформований при механічній обробці, а також усуваються неточності форми і розташування поверхонь, що труться, викликані дефектами складання і обробки (биття, перекіс, овальність, конусність, неспіввісність та ін.). При цьому, до кінця періоду припрацювання досягається оптимальна шорсткість, що забезпечує мінімальне зношування. Доцільно мати поверхні деталей із шорсткістю більш оптимальною. Подовження періоду припрацювання та зростання початкового зносу в цьому випадку компенсується скороченням виробничих витрат. Для вибору оптимальної вихідної шорсткості використовують математико-статистичний метод. У табл. 1.4 наведено деякі норми шорсткості ( $R_a$ ) поверхні деталей.

Особливе значення ступінь шорсткості обробки поверхні має для забезпечення міцності нерухомих посадок. Важливим є правильний вибір співвідношення між висотою нерівностей  $R_z$  і полем допуску  $\delta$ . Це співвідношення рекомендується вибрати залежно від

виду посадок: для пресових  $R_z=(0,11-0,12) \delta$ ; перехідних та рухомих –  $R_z = (0,08-0,11) \delta$ ; руху –  $R_z = (0,05-0,07) \delta$ .

Таблиця 1.4 – Рекомендовані норми на шорсткість поверхні деталей  $R_a$ , мкм

Деталь	Автомобіль	Трактор
Колінчастий вал	0,2	0,8
Поршень: Юбка	1,6	1,6
Отвір під палець	0,8	1,6
Канавки	0,8	3,2
Поршневий палець	0,16	0,4
Поршневе кільце (торці)	0,8	1,6
Шатун: Отвір у малій головці	0,5	0,8
Отвір у великій головці	0,63	0,63
Штовхач	0,2	0,8
Гільза блоку	–	0,4
Напрямна втулка клапана	–	3,2
Розподільний вал: шийки та кулачки	–	0,8

При виборі співвідношення враховуються і діаметри деталі:  $\varnothing 50$  мм і більше  $R_z = (0,1-0,15) \delta$ ;  $\varnothing 18-50$  мм –  $R_z = (0,15-0,20) \delta$ ;  $\varnothing < 18$  мм –  $R_z = (0,20-0,25) \delta$ .

Період усталеного зносу характеризується найбільш низькою середньою швидкістю процесу. Однак, у період роботи вона завжди зберігається постійною. Так, зупинки працюючих машин, їх пуск, будь-яка зміна навантаження та швидкісного режиму впливають на умови тертя сполучених поверхонь. Це сприяє переходу їх роботи у фази граничного мащення та тертя без мастила. Процес зношування протікає стаціонарно та відхилення від середньої швидкості не впливають на загальну лінійну залежність зносу від напрацювання. У цей період має місце допустимий (нормальний) знос. Відповідно до досліджень Б.І. Костецького та ін., до допустимих процесів належать: утворення на поверхні тертя найтонших плівок (окислів) – вторинних захисних структур, розвиток різних форм прояву окисного зносу.

При початковому етапі посиленого зносу інтенсифікуються процеси пошкоджуваності, тобто, розвиваються неприпустимі явища, що призводять до швидкого виходу деталей з експлуатації.

До неприпустимих належать: схоплювання, абразивна ушкоджуваність з механічним порушенням суцільності поверхні контакту шляхом дряпання, зняття стружки, фреттинг-процес та ін.

Різні форми ушкоджуваності відрізняються кінетикою та механізмом їх розвитку. Період інтенсивного зносу настає після того, як зазори в рухомих сполученнях досягають значень, при яких виявляється ускладненим заповнення їх мастилом. Виникають ударні навантаження, що викликають додаткове деформування деталей, що збільшує швидкість зношування. Зміни лінійних розмірів деталей можуть призвести до зниження міцності та стійкості (довгомірні деталі), їх деформації. Це зменшить безпеку та ефективність роботи машин.

Працездатність матеріалів в умовах тертя значною мірою визначається структурними змінами, що формуються при експлуатації та залежать від характеру зношування або ушкодження.

Вид руйнування або зношування можна встановити за макро- та мікроструктурним аналізом поверхні тертя, розподілом хімічних елементів, оцінкою фізико-механічних властивостей, а механізм – кінетикою їх зміни.

У реальних умовах виділити відомі механізми зношування в чистому вигляді досить складно. Як показав проведений аналіз, при експлуатації деталей у їхньому робочому шарі залежно від матеріалу має місце пластична деформація, дифузія, процеси молекулярного та атомного зчеплення, фазові перетворення, крихке руйнування, окислення, графітизація. Причому, в окремих випадках структурні зміни, що спостерігаються, відбуваються одночасно. Структуроутворення на поверхні тертя суттєво змінюється від умов експлуатації: температурний режим, питомі тиски, швидкість ковзання, шлях тертя та інші фактори.

Структурні зміни поверхні тертя вимагають особливої уваги під час ремонту деталей, оскільки у цьому випадку необхідно перед відновленням чітко визначити величину знімання пошкодженого шару або технологію його стабілізації. Тільки при такому підході можливо забезпечити отримання якісного шару, що нарощується. У зв'язку з



цим становлять великий інтерес дослідження умов та оцінка можливих механізмів розвитку різних видів зносу та ушкоджуваності.

Незважаючи на різноманіття, процеси руйнування мають деякі характерні риси, що дозволяють створити їх певну класифікацію (рис. 1.6).

Слід мати на увазі, що найчастіше руйнування відбувається внаслідок не одного, а низки одночасно діючих чинників. У таких випадках механізм руйнування значно складніший у порівнянні з механізмом руйнування матеріалу під дією якогось одного фактору, тобто коли, як кажуть, руйнування проявляється в "чистому вигляді".

Внаслідок впливу руйнівних процесів на деталі машин виникають різні дефекти.

**Дефект** – кожна окрема невідповідність деталі вимогам, установленим нормативною документацією. Види дефектів та їх наслідки показано на рис. 1.7.

Найбільш характерні дефекти деталей сільськогосподарської техніки показано на рис. 1.8. Для деталей сільськогосподарської техніки зноси коливаються переважно в межах 0,01...4,00 мм (рис. 1.9). Найбільше деталей (близько 80%) мають знос до 0,6 мм. Так, знос до 0,1 мм – 52% деталей, до 0,2 – 12%, до 0,3 – 10%, до 0,4 – 1%, до 0,5 – 5%, до 0,6 мм – 3% деталей.

Спрацювання поверхонь деталей різних груп становить (приблизно): циліндричної 52%; конічної та сферичної 3%; шліців 3%; пазів, канавок, лисок 5%; нарізі 10%; плоскої поверхні 1%, зубів шестерень 2%; профільної, фасонної поверхні 1%. Тріщини і злами спостерігаються у 9% деталей; порушення геометрії та форми – у 13%.

За областю виникнення дефекти поділяються на три класи: конструктивні, виробничі та експлуатаційні.

**Конструктивні дефекти** – це невідповідність вимогам технічного завдання або встановленим правилам розробки (модернізації) продукції. Причини таких дефектів – помилковий вибір матеріалу виробу, неправильне визначення розмірів деталей, режиму термічної обробки тощо. Ці дефекти є наслідком недосконалості конструкції та помилок конструювання.

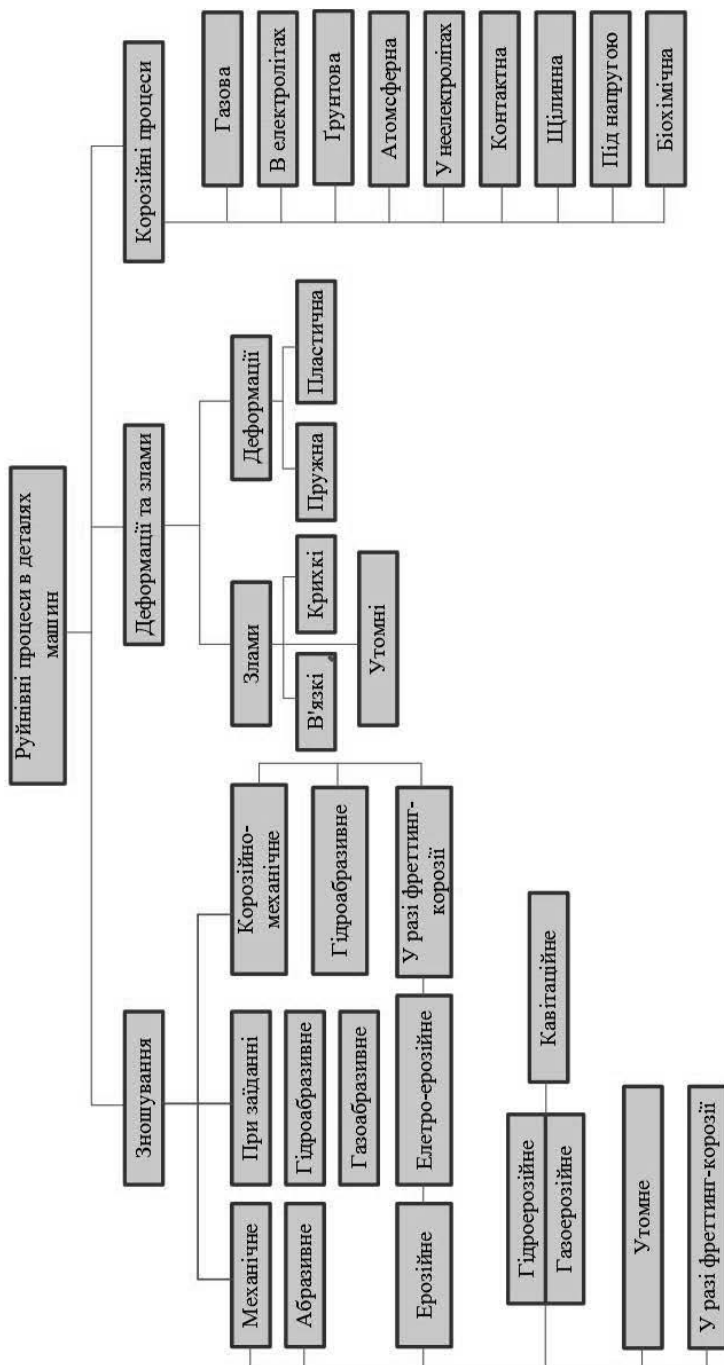


Рис. 1.6 – Класифікація руйнівних процесів у деталях

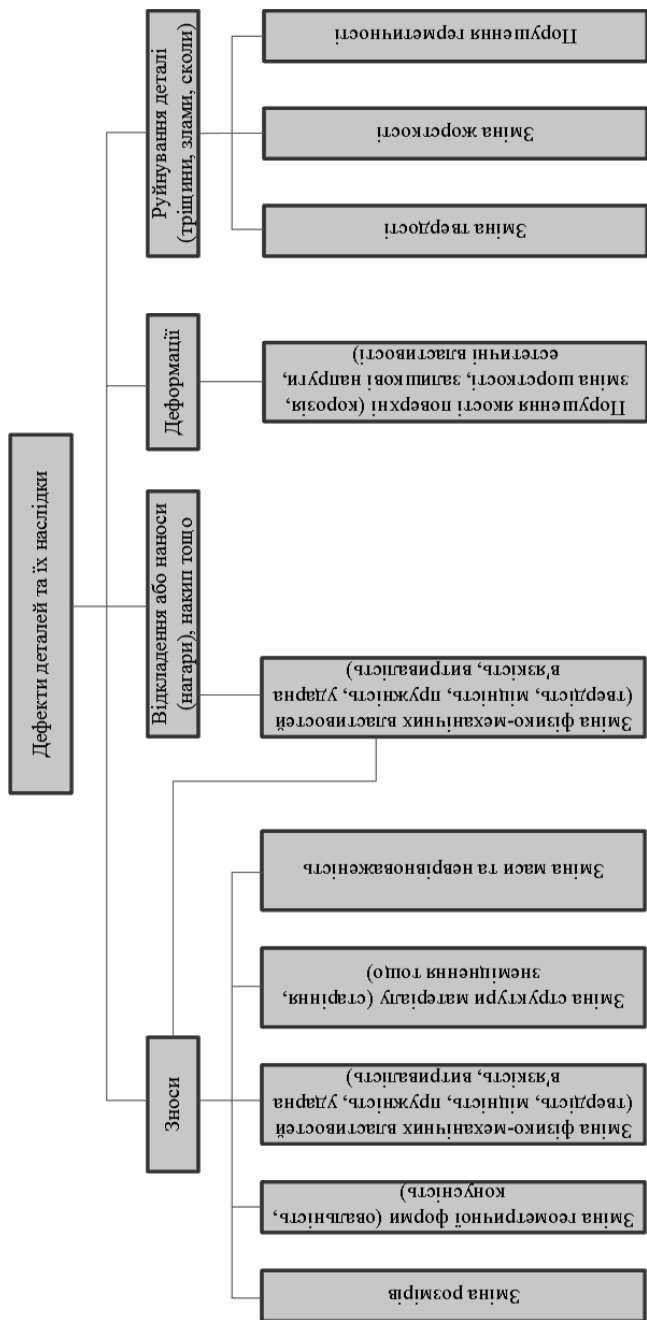


Рис.1.7 – Види дефектів у деталях та їхні наслідки

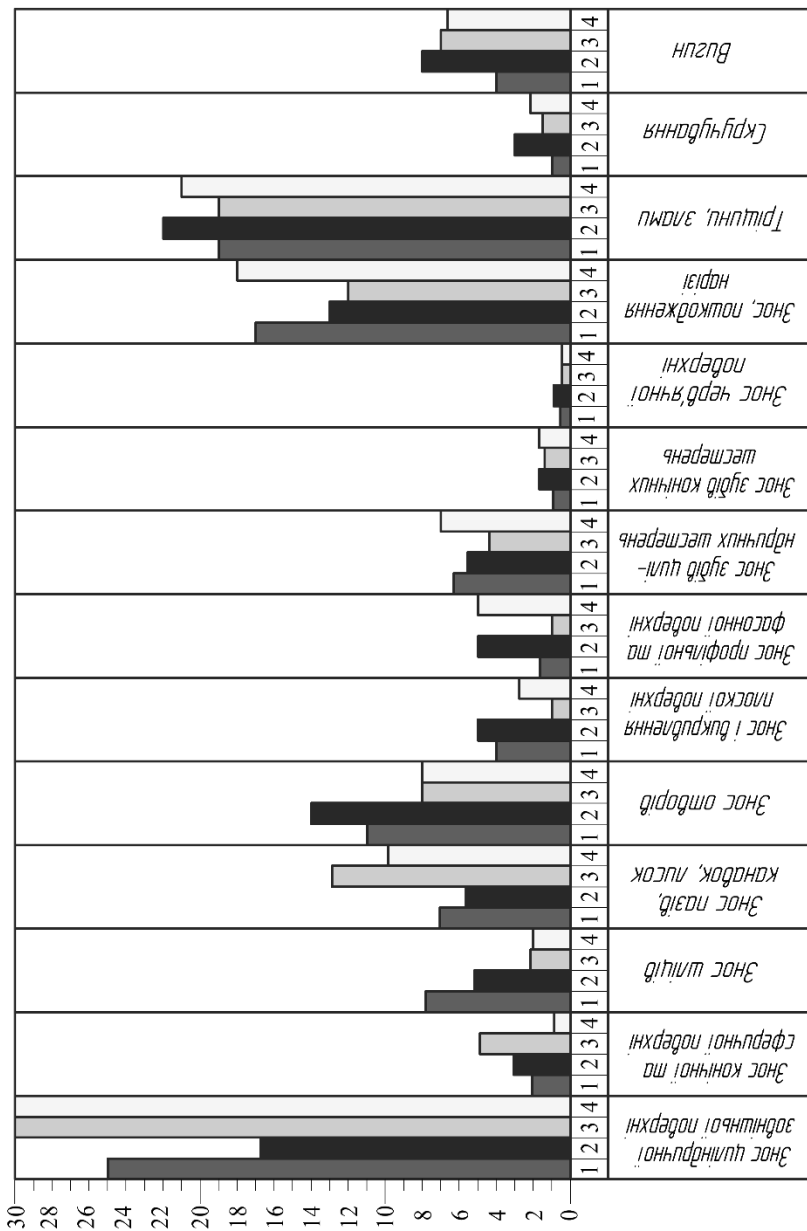


Рис.1.8 – Наявність характерних дефектів на деталях машин: 1 – трактори; 2 – автомобілі; 3 – зернозбиральні комбайни; 4 – сільськогосподарські машини

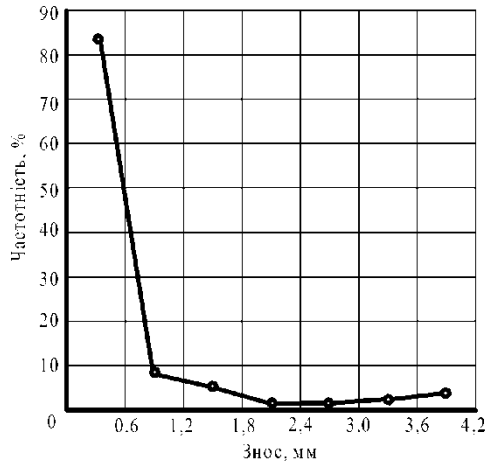


Рис.1.9 – Розподіл зносу деталей сільськогосподарської техніки

**Виробничі дефекти** – невідповідність вимогам нормативної документації на виготовлення, ремонт або постачання продукції. Виробничі дефекти виникають при порушенні технологічного процесу при виготовленні чи відновленні деталей.

Експлуатаційні дефекти виникають в результаті руйнівних процесів, а також неправильної експлуатації машин.

За можливістю виправлення дефекти класифікують на усунні – усунення технічно можливе й економічно доцільне – та неусунні – усунення технічно неможливе або економічно недоцільне (старіння матеріалу, міжкристалічна корозія, злами тощо).

За місцем розташування дефекти поділяються на зовнішні та внутрішні. Перші легко виявляють візуально або нескладними вимірюваннями, другі (втомні тріщини, дислокації, точкова корозія та ін.) – різними способами структуроскопії деталей.

У загальному випадку дослідженням технічного стану об'єктів, проявами технічних станів, розробкою методів визначення несправностей, а також принципів побудови та організації цих робіт займається **технічна діагностика**. За її допомогою можна визначити місце, вид та причини виникнення дефектів як у процесі експлуатації машини, так і при відновленні (рис. 1.10).

Класифікаційні ознаки

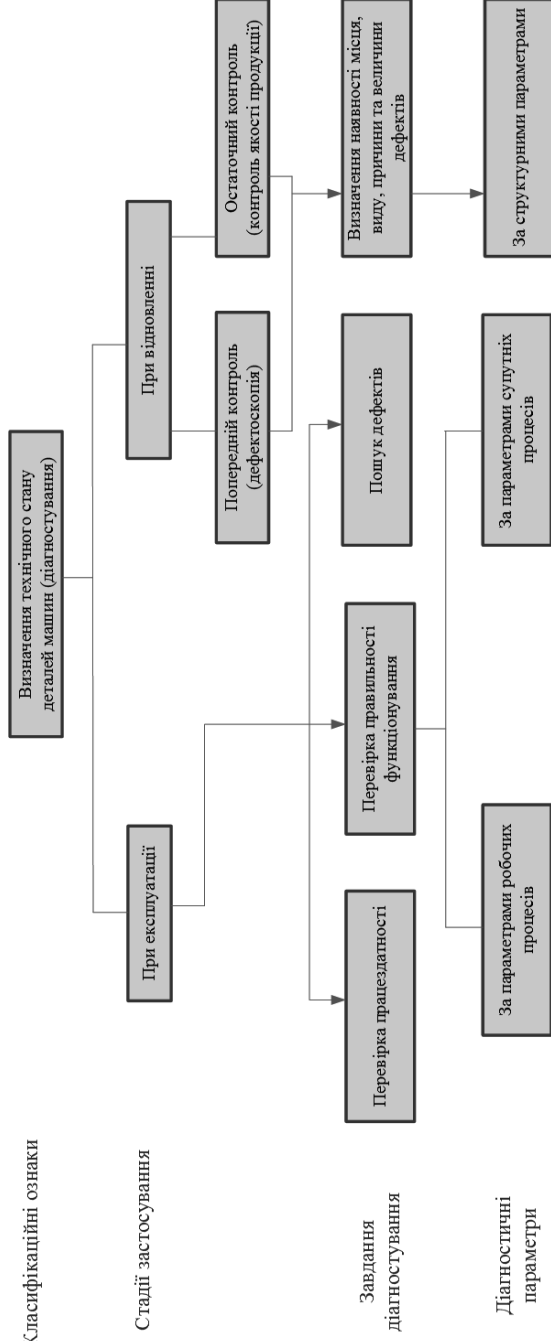


Рис. 1.10 – Види оцінки технічного стану деталей

Зазвичай у кожній деталі буває не більше шести різновидів дефектів. Найчастіше зустрічається поєднання двох, трьох й іноді чотирьох дефектів. Імовірність появи у зношеної деталі  $n$  дефектів із  $m$  можливих можна визначити, використовуючи біноміальний розподіл.

$$P_m(n) = C_m^n P^m q^{m-n} = \frac{m!}{n!(m-n)!} P^n q^{m-n}, \quad (1.1)$$

де  $C_m^n$  – кількість появи  $n$  дефектів із  $m$  можливих;  $P$  – імовірність появи дефектів;  $P = \sum_{i=1}^m \frac{K_i}{mN}$ ;  $K_i$  – кількість деталей з  $i$ -м дефектом;  $N$  – кількість деталей у виборці;  $q$  – імовірність не появи дефектів.

Зв'язок між окремими поверхнями (або дефектами) може бути функціональним (у сенсі спільності виконання певних функцій) і кореляційним.

Технічні умови на виготовлення деталі задають певний взаємозв'язок між різними її поверхнями у вигляді допустимих відхилів у їх взаємному розташуванні.

Ознака функціонального зв'язку, що відноситься до типу якісних, дозволяє чітко класифікувати дефекти та їх поєднання на окремі класи за рахунок об'єднання таких дефектів у спільні маршрути відновлення.

Тіснота кореляційного зв'язку між дефектами деталі є якісною ознакою, що встановлює суворість дотримання пропорційності їх виникнення. Показником її оцінки служить вибірковий коефіцієнт парної кореляції, що визначається за алгоритмом, у відповідності з яким послідовно знаходять:

1) оцінки математичних очікувань розмірів зношуваних поверхонь:

$$M(X_i) = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N}, \quad (1.2)$$

де  $X_i$  – розмір  $i$ -ої поверхні деталі;  $N$  – величина партії обстежених деталей;

2) оцінки дисперсій розмірів поверхонь:

$$D(X_i) = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - M(X_i))^2}{N}; \quad (1.3)$$

3) оцінки середньоквадратичних відхилень

$$\sigma(X_i) = \sqrt{D(X_i)}; \quad (1.4)$$

4) оцінки кореляційних моментів зв'язку

$$K_{X_i X_j} = \sum_{i=1}^N (X_i - M(X_i)) \cdot (X_j - M(X_j)) (N-1), \quad (1.5)$$

де  $K_{X_i X_j}$  – оцінка кореляційного моменту зв'язку між розмірами  $i$ -ої та  $j$ -ої поверхонь;

5) вибіркові коефіцієнти парної кореляції

$$r_{X_i X_j} = \frac{K_{X_i X_j}}{\sigma_{X_i} \cdot \sigma_{X_j}}, \quad (1.6)$$

де  $r_{X_i X_j}$  – вибірковий коефіцієнт парної кореляції між розмірами  $i$ -ої та  $j$ -ої поверхонь.

Виявлення взаємозв'язків дефектів на зношених деталях дозволяє обґрунтовано підійти до питання формування маршрутів їх відновлення. За наявності сильних кореляційних зв'язків між різними дефектами їх доцільно поєднувати в спільні маршрути, оскільки такі дефекти, що виникають у більшості випадків спільно, повинні спільно й усуватись.

### 1.3 Класифікація методів і способів відновлення та зміцнення деталей машин

Відновлення працездатності об'єкта (деталі) може відбуватися як у процесі його застосування, так і поза ним. Перший випадок менш поширений: самозагострення зношених лез робочих органів; швидка заміна зношених елементів сполучення; відновлення розмірів елементів пари тертя без розбирання шляхом застосування металоплакувальних мастил та ін. Найчастіше спостерігається відновлення деталей поза процесом їх застосування з великими перервами в роботі.



Види відновлення деталей машин слід класифікувати відповідно до видів дефектів та їхніх наслідків (див. рис. 1.7). Для усунутих дефектів можна виділити такі види відновлення:

- розмірів деталей різними способами нанесення покриттів, пластичною деформацією та ін.;

- геометричної форми деталей (у залежності від виду дефекту – способом механічної обробки або правки);

- фізико-механічних властивостей деталей (здійснюється в результаті операцій нанесення покриттів, механічної та термічної обробки тощо);

- структури матеріалу деталі найчастіше способами термічної чи хіміко-термічної обробки;

- маси та врівноваженості деталі за допомогою операцій балансування, механічної обробки та ін.;

- якості поверхні деталі різними операціями: механічної обробки, очищення, нанесення захисних покриттів тощо;

- міцності деталі способами зварювання, термічної обробки та ін.;

- жорсткості за допомогою операцій термічної обробки, нанесення покриттів, зварювання тощо;

- герметичності способами зварювання, нанесення полімерних композиційних матеріалів тощо.

Практично, проводячи відновлення деталі, одночасно усувається кілька наслідків дефектів, тобто, процес відновлення носить комплексний характер.

Технологія відновлення деталей машин передбачає використання різних процесів: зварювальних, металургійних, електрохімічних та ін. Укрупнена класифікація основних технологічних методів, що застосовуються при відновленні та зміцненні деталей машин, показана на рис. 1.11.

#### **1.4 Якість відновлених деталей машин**

Якість продукції – сукупність її властивостей, що зумовлюють можливість задовольняти певні потреби у відповідності з призначенням продукції. Кількісні характеристики цих властивостей називають показниками якості продукції. Таким чином, показники якості продукції кількісно характеризують ступінь придатності для задоволення певних потреб. Ці показники можуть виражатися у різних одиницях.

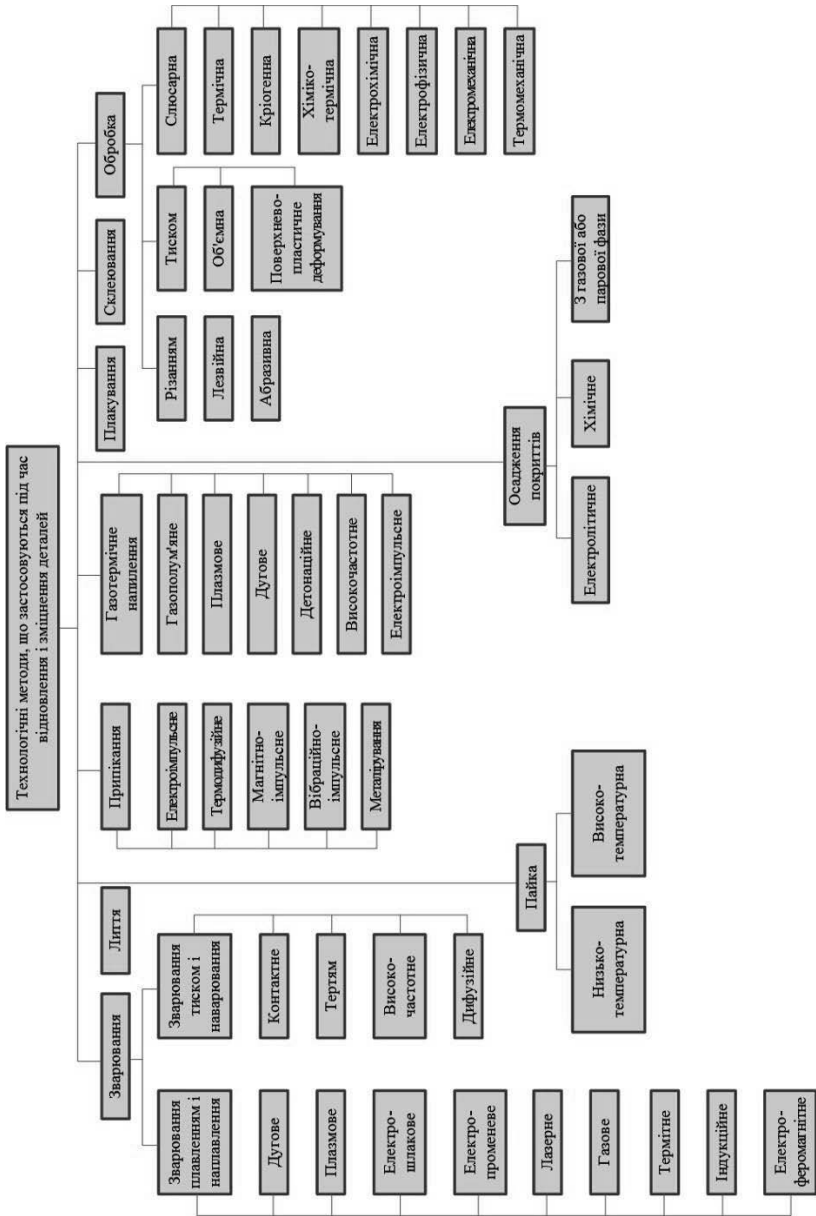


Рис.1.11 – Класифікація технологічних методів, що застосовуються під час відновлення і зміцнення деталей машин

Продукцією підприємств з відновлення деталей є відновлені деталі машин, які мають комплекс певних об'єктивних властивостей. Властивістю називається об'єктивна особливість продукції, яка може проявлятися під час її створення або експлуатації (у тому числі відновлення). Взаємозв'язок понять «властивості відновлених деталей» та «якість відновлених деталей» показаний на рис. 1.12.

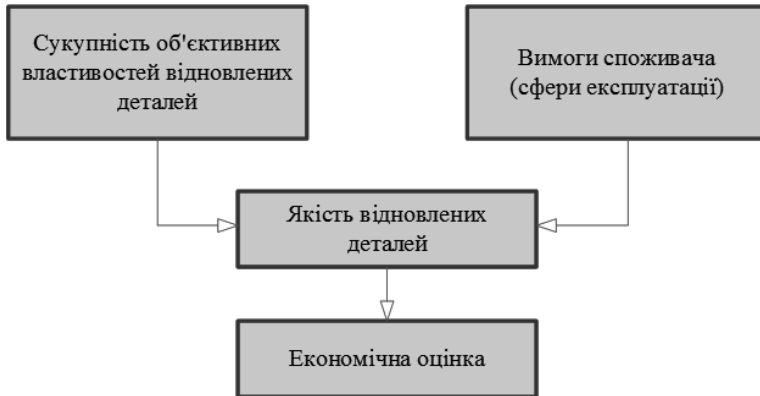


Рис.1.12 – Взаємозв'язок властивостей і якості відновлених деталей

Відповідно до ДСТУ 2860-94 для ремонтованих виробів, якими є відновлені деталі, застосовні практично всі існуючі групи показників якості продукції. У зв'язку з тим, що в процесі відновлення деталей ніяк не можна впливати на такі групи показників якості, як показники транспортабельності, стандартизації та уніфікації, патентоправові та екологічні, використання їх в даному випадку недоцільне.

Номенклатура показників, що використовуються для оцінки якості відновлених деталей, наведено в табл. 1.5.

Як комплексний показник призначення виступає функціональна взаємозамінність, при якій одночасно з можливістю складання (або заміни при ремонті) без припасування створюються в певних межах економічно оптимальні експлуатаційні показники машини встановленням зв'язків цих показників з функціональними параметрами деталей і незалежним виготовленням (відновленням) останніх за цими параметрами з точністю, визначеною виходячи з допустимих відхилів експлуатаційних показників машини і необхідного гарантованого запасу їх точності.

Таблиця 1.5 – Оцінка якості відновлених деталей

Група показників	Комплексні, інтегральні або групові показники	Одиничні показники
1	2	3
<b>Основні групи показників</b>		
Показники призначення	Функціональна взаємозамінність	<u>Основні показники</u> Геометричні параметри; Параметри поверхневого шару <u>Додаткові показники</u> Механічні та фізико-механічні параметри; Параметри структури матеріалу деталі; Хімічні та фізичні параметри; Маса і врівноваженість
Показники надійності	Показники безвідмовності  Показники довговічності  Показники ремонтпридатності Показники збереженості	<u>Основні показники</u> Середнє напрацювання до відмови. Напрацювання на відмову <u>Додатковий показник</u> Імовірність безвідмовної роботи Середній ресурс Гама-процентний ресурс Середній час відновлення Термін збереженості
Показники технологічності	<u>Основні показники</u> Трудомісткість відновлення деталі Собівартість відновлення деталі	

Продовження табл.1.5

1	2	3
	<u>Додаткові показники</u> Виробничі	Коефіцієнт застосування типових технологічних способів відновлення. Коефіцієнт витрати матеріалів. Коефіцієнт номенклатури застосовуваних матеріалів для відновлення. Коефіцієнт оброблюваності матеріалів
	Експлуатаційні	Відновлюваність деталі. Кратність відновлення
Експлуатаційні показники		Питомі витрати на відновлення та експлуатацію деталей
<u>Додаткові групи показників</u>		
Показники рівня відновлення	Ступінь відновлення деталі	Одиничні показники ступеня відновлення можуть існувати для будь-якого показника якості відновлених деталей
Показники естетичні		Досконалість виробничого виконання (товарний вигляд)
Показники безпеки		Імовірність безвідмовної роботи

Функціональними називаються такі параметри, що впливають на експлуатаційні показники роботи машини, вузла чи деталі.

Процес відновлення деталі – складна конструкторсько-технологічна задача, при розв’язанні якої частково змінюються деякі характеристики деталі, закладені в ній конструктором, наприклад: матеріал окремих ділянок (наплавленням або електролітичним осадженням), фізико-механічні властивості і шорсткість поверхні. У разі відновлення працездатності деталей методом ремонтних розмірів змінюються також і геометричні параметри. У зазначених умовах принцип взаємозамінності розширюється і включає в себе не тільки розмірну взаємозамінність, а й взаємозамінність за механічними, фізичними та іншими параметрами, які впливають на експлуатаційні показники агрегатів машин або самих деталей.

Таким чином, використовуючи у вузлі машини замість нової деталі деталь, відновлену певними способами, необхідно пам’ятати про її призначення, тобто забезпечити виконання цією деталлю певних експлуатаційних функцій.

Межі коливань експлуатаційних показників визначаються, очевидно, межами зміни, варіаціями тих функціональних параметрів (поодиноких показників якості), що обумовлюють даний показник і зсувають його значення від «ідеального».

Різні технології відновлення деталей забезпечують неоднакові функціональні параметри, тому, оцінюючи якість відновлених деталей, перш за все потрібно виходити з принципів їх функціональної взаємозамінності.

Залежно від виду деталей та принципу дії вузла, агрегату або машини, куди ця деталь входить, існують такі типові функціональні параметри, що є одиничними показниками якості відновлених деталей:

- 1) геометричні, в тому числі їх точність: лінійні та кутові розміри, форми поверхні, взаємне розташування поверхонь та ін.;
- 2) поверхневого шару: шорсткість, хвилястість, залишкові напруження, структура, глибина та ступінь наклепу, твердість тощо;
- 3) механічні та фізико-механічні: міцність, жорсткість, зносостійкість, втомна міцність, міцність зчеплення покриття, вібростійкість тощо;
- 4) структури матеріалу: певний вид структури, кількість залишкового аустеніту, однорідність структури;
- 5) хімічні та фізичні: корозійна стійкість, вологопоглинання, теплопровідність, лінійне та об’ємне теплове розширення та ін.

Для певних типів деталей як функціональні параметри виступають також маса і врівноваженість деталі, герметичність та ін.

Задля реалізації принципу функціональної взаємозамінності необхідно встановити допустимі відхилення експлуатаційних показників виробу, виявити геометричні, механічні та інші функціональні параметри та встановити зв'язок цих параметрів з експлуатаційними показниками. Знаючи ці зв'язки та допустимі відхилення експлуатаційних показників деталей можна визначити допустимі відхилення (допуски) функціональних параметрів.

Зв'язок між експлуатаційним показником виробу  $Y$  і функціональними параметрами  $X_i$  може бути як функціональним, так і стохастичним (імовірнісним). Найбільш простим є розрахунок граничних відхилень функціональних параметрів за наявності функціонального зв'язку між номінальними значеннями експлуатаційного показника і значеннями незалежних між собою функціональних параметрів

Одним з основних показників, що характеризують якість відновлених деталей, є **надійність** – властивість об'єкта зберігати у часі в установлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах і умовах застосування, ремонтів, зберігання та транспортування.

Надійність – складна властивість, яка в залежності від призначення деталі та умов її застосування складається з безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності та збережності.

**Безвідмовність** – властивість деталі безперервно зберігати працездатний стан протягом деякого часу або деякого напрацювання.

**Довговічність** – властивість деталі зберігати працездатний стан до настання граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування та ремонту.

**Ремонтпридатність** – властивість деталі, що полягає у пристосованості до попередження та виявлення причин виникнення відмов, ушкоджень і підтримання та відновлення працездатного стану.

**Збережність** – властивість деталі зберігати значення показників довговічності і ремонтпридатності протягом і після зберігання та (або) транспортування.

За характером використання всі деталі сільськогосподарської техніки можна розділити на дві великі групи.

1. «Неспряжені» деталі, характеристики надійності яких зазвичай можна оцінити незалежно від характеристик вузлів або агрегатів, куди вони входять. До цієї групи відносимо деталі, умови роботи яких у першу чергу обумовлені взаємодією їх з певним середовищем (грунт, рослинна маса, робоча рідина тощо). Це, наприклад, леміш плуга, диск сошника, ніж кормоподрібнювача та ін.

2. «Спряжені» деталі, характеристики надійності яких не можна безпосередньо оцінити, не розглядаючи якість машини в цілому або окремих її вузлів чи агрегатів. Це більшість деталей двигуна, шасі та ін.

Залежно від величини ресурсу деталі машини поділяються на:

1. Деталі, у яких ресурс до відмови  $r_l$  менше, ніж ресурс машини до граничного стану  $R_{zc}$ , тобто для яких справедливе співвідношення  $r_l < R_{zc}$ .

2. Деталі, які мають ресурс до відмови рівний ресурсу машини до граничного стану, тобто деталі, для яких справедливе співвідношення  $r_l = R_{zc}$ , але  $r_{zc} > R_{zc}$ .

3. Деталі, які мають ресурс до відмови більший, ніж ресурс машини до граничного стану, тобто, для яких має місце  $r_l > R_{zc}$ .

Деталі першої групи замінюють при ремонті машин в експлуатації. Деталі третьої групи при капітальному ремонті визнають придатними, якщо дотримується співвідношення  $r_l = KR_{zc}$  де  $K$  – ціле додатне число. Деталі другої групи підлягають відновленню при капітальному ремонті.

Крім того, деталі можна класифікувати за ступенем їхньої відповідальності у вузлах і агрегатах машини (табл. 1.6).

Дані про розподіл відмов по основних вузлах автомобільних двигунів наведені в табл. 1.7.

Таким чином, при обґрунтуванні рівня надійності відновлених деталей слід враховувати їх особливості: фактор спряженості деталей; значення ресурсів вузлів, агрегатів чи машин, куди ці деталі входять, і ступінь відповідальності деталей.

Номенклатура показників надійності відновлених деталей повинна відповідати номенклатурі показників для нових деталей. У випадках, коли в науково-технічній документації на нові деталі показники їх надійності не визначені, номенклатуру показників визначають за ДСТУ 2860-94.



Таблиця 1.6 – Класифікація деталей за ступенем їхньої відповідальності

<b>Група деталей за відповідальністю</b>	<b>Ступінь відповідальності деталей</b>	<b>Прояв відмов</b>	<b>Наслідки відмов</b>
1	Деталі найвищої відповідальності	Відмови призводять до порушення функціонування машини або агрегатів	Відмови призводять до небезпечних ситуацій для людей, а також до економічних втрат
2	Відповідальні деталі	Відмови призводять до відхилення параметрів машини або агрегатів	Відмови призводять до економічних втрат
3	Інші деталі	Відмови призводять до зміни параметрів у допустимих межах	Відмови локалізуються без наслідків

Критерії вибору показників надійності включають такі класифікаційні ознаки виробу: клас виробу; тимчасовий режим експлуатації; наслідки відмови; принцип обмеження тривалості використання.

Деталі сільськогосподарської техніки, що відновлюються, відносяться до класу ремонтованих виробів, що експлуатуються до відмови або до граничного стану; напрацювання деталі обчислюється за напрацюванням об'єкта (трактора, автомобіля, сільськогосподарської машини або їх складових частин), в який входить деталь. Для всієї номенклатури деталей машин склад показників надійності не може бути однаковим. Він залежить від характеристик машин і агрегатів, в які входять аналізовані деталі.

Таблиця 1.7 – Розподіл відмов по основних вузлах автомобільних двигунів

<b>Вузол двигуна</b>	<b>Внесок у надійність двигуна, %</b>	<b>Ранжування за ступенем відповідальності</b>
Кривошипно-шатунний механізм	44	
Головка блоку циліндрів, картер маховика і підвіска двигуна	12	Перша група
Газорозподільний механізм	10	Друга група
Система випуску газів	32	Третя група

Номенклатура машин та обладнання, що застосовуються у сільськогосподарському виробництві, дуже широка. Різноманітний і характер їх функціонування.

За рівнем домінуючих факторів наслідків відмов їх можна розділити на три групи.

До першої відносяться машини, що експлуатуються в режимі, близькому до безперервного, або в безперервному, коли їх ремонти в період експлуатації не передбачаються. Домінуючий фактор при оцінці наслідків відмов – вимушений простій, витрати від якого приносять збитки, що залежать від тривалості простою. Машини цієї групи використовуються до граничного стану, за яким визначають ресурс. Це більшість сільськогосподарських машин, робота яких має сезонний характер.

До другої групи відносять машини, що експлуатуються до граничного стану в переривчастому режимі, при цьому період використання істотно перевищує період очікування роботи. Домінуючими факторами при оцінці наслідків відмов є наявність відмов і вимушені простоя в ремонтах (вантажні автомобілі, бульдозери, тягачі, кормозмішувачі-ніші, транспортери та ін.).

Третю групу становлять машини та агрегати, що виконують конкретне завдання. Факт виконання чи невиконання виробом заданих йому функцій у заданому обсязі розглядається як домінуючий.

З метою призначення складу показників надійності за табл. 1.8 визначається шифр деталей з урахуванням факторів, що впливають на вибір показників надійності.

Таблиця 1.8 – Шифр деталей з урахуванням факторів, що впливають на вибір показників надійності

Цифра в шифрі	Ознака класифікації	Значення ознаки та відповідна їй цифра в шифрі
Перша	Відновлюваність	1 – відновлювані
Друга	Обмеження тривалості експлуатації	1 – до першої відмови або до певного стану; 2 – до граничного стану
Третя	Тимчасовий режим використання	1 – циклічний регулярний; 2 – циклічний нерегулярний

Нормовані показники надійності для різних шифрів деталей наведені в табл. 1.9.

Таблиця 1.9 – Показники надійності для різних шифрів деталей

Номер групи	Шифр деталі	Показник надійності
1	1113 1123	Імовірність безвідмовної роботи $P(t_p)$ , середній ресурс $T_{сер.}$ , гамма-відсотковий ресурс $T_i$
1	1213 1223	
2	1212 1222	Середнє значення параметрів потоку відмов за ресурс (або напрацювання на відмову $T_e$ ), середній ресурс $T_{сер.}$ або гамма-відсотковий ресурс $T_i$

Як основні індивідуальні показники надійності деталей слід використовувати: серед показників безвідмовності – середнє напрацювання до відмови або напрацювання на відмову; серед показників довговічності – середній і гамма-відсотковий ресурси (див. табл. 1.3).

Ремонтпридатність деталей оцінюють часом на відновлення працездатного стану;

$$T_e = \frac{1}{K \sum_{i=1}^K \tau_{\theta_i}}, \quad (1.7)$$

де  $K$  – кількість відмов в процесі експлуатації;  $\tau_{\theta_i}$  – трудомісткість відновлення  $i$ -ої відмови.

Трудомісткість відновлення деталей  $\tau_{\theta}$  визначається тільки при наявності нормативно-технічної документації на технологічні процеси відновлення, але не включає витрати часу і праці, пов'язані з «очікуванням» відновлення, тобто періоди зберігання, транспортування, складання деталей тощо.

Область прояву ремонтпридатності деталей перетинається з областю існування ремонтної технологічності. У зв'язку з цим якісним показником ремонтпридатності деталей є і їх відновлюваність.

Негативний вплив на подальше використання відновлених деталей за призначенням мають тривале їх зберігання та транспортування, Як показник надійності може виступати термін збережності. Для відновлених деталей цей показник включає тривалість зберігання виробів до введення в експлуатацію, тобто термін збережності в упаковці, на складі та ін.

Одним з напрямків підвищення надійності деталей машин є **резервування**, яким в теорії надійності вважають застосування додаткових засобів і (або) можливостей з метою збереження працездатного стану об'єкта при відмові одного або кількох його елементів.

Для підвищення надійності деталі необхідно створення резерву за міцністю, жорсткістю, зносостійкістю та іншими критеріями працездатності. Резервування за цими характеристиками можна проводити в процесі відновлення модернізацією деталі.

Наприклад, імовірність неруйнування деталі (елемента)  $P$  розподілена за нормальним законом

$$P(\sigma_p < \sigma_{zp}) = \int_{\sigma_{\min}}^{\sigma_{zp}} F(\sigma) \cdot d\sigma, \quad (1.8)$$

де  $\sigma_p$  – напруження руйнування;  $\sigma_{zp}$  – гранична міцність.

Запас міцності при цьому виразиться як  $[n] = \sigma_{zp} / \sigma_p$ . У разі збільшення міцності (створення резерву) відбувається зміщення математичного очікування розподілу  $\sigma_p \pm 3\Delta\sigma$ , тобто, запас міцності пов'язується з показником надійності – ймовірністю безвідмовної роботи і перетворюється на запас надійності – функцію  $[n] = F(P)$ .

Таким чином, одне із завдань процесу відновлення – створювати шляхом резервування деталі, в яких при експлуатації гасяться (затримуються) руйнівні процеси.

**Технологічність** деталей характеризується сукупністю властивостей деталі, що виявляються в оптимальних витратах праці, коштів, матеріалів і часу при технологічній підготовці виробництва, виготовленні, експлуатації та ремонті.

До інтегральних показників технологічності відновлених деталей відносяться трудомісткість та собівартість технологічного процесу відновлення.

Виробнича технологічність деталей проявляється в скороченні витрат і часу на технологічну підготовку виробництва з відновлення деталей і технологічні процеси відновлення.

В силу того, що відновлення є етапом експлуатації деталі, експлуатаційна технологічність відновлених деталей проявляється у скороченні витрат коштів і часу при повторному відновленні деталей після періоду їх функціонування в машині.

Як правило, рівень технологічності оцінюють, порівнюючи його з вже досягнутими (базовими) показниками. При цьому базою порівняння для відновлених деталей можуть служити або аналогічні нові деталі, або деталі, відновлені за базовою (загальнозастосовуваною, типовою) технологією.

У якості одиничних показників технологічності можуть виступати коефіцієнти застосування типових технологічних способів відновлення, витрат матеріалів, номенклатури застосовуваних матеріалів для відновлення, оброблюваності матеріалу, а також відновлюваність і кратність відновлення.

Коефіцієнт застосування типових технологічних способів відновлення  $K_{mc}$  визначається як відношення числа типових технологічних способів відновлення  $Q_{mc}$  до загального числа застосовуваних при відновленні даної деталі технологічних способів  $Q_c$ :

$$K_{mc} = Q_{mc} / Q_c. \quad (1.9)$$

Використання додаткових матеріалів при відновленні деталей характеризується коефіцієнтом витрати матеріалу  $K_{вм}$ , що визначається як відношення сумарної маси додаткових матеріалів в деталі  $M_{дм}$  до загальної маси деталі  $M_0$ :

$$K_{вм} = M_{дм} / M_0. \quad (1.10)$$

Для деталей, що відновлюються без витрат матеріалу (наприклад способом тиску),  $K_{\text{вм}}=0$ .

Коефіцієнт номенклатури, що застосовуються при відновленні додаткових матеріалів

$$K_{\text{нм}} = 1 + \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^{m_p} S_{m_i}^p}{\sum_{i=1}^{m_{\bar{o}}} S_{m_i}^{\bar{o}}} \right), \quad (1.11)$$

де  $m_p$ ,  $m_{\bar{o}}$  – кількість марок додаткових матеріалів, що застосовуються відповідно в варіанті, що розглядається, та базовому варіанті відновлення;  $S_{m_i}^p$  – кількість застосовуваних при відновленні деталі сортаментів (видів)  $i$ -ої марки матеріалу;  $S_{m_i}^{\bar{o}}$  – кількість застосовуваних сортаментів (видів)  $i$ -ої марки матеріалу в базовому варіанті відновлення.

Оброблюваність відновлених поверхонь оцінюється за коефіцієнтом оброблюваності матеріалів  $K_{\text{ом}}$ , який враховує машинний час обробки аналізованого  $T_{\text{рм}}$  і базового  $T_{\text{бм}}$  матеріалів та відповідні стійкості різального інструменту  $T_{\text{ір}}$  та  $T_{\text{іб}}$  одного типу при забезпеченні ідентичних вимог до якості оброблюваних поверхонь:

$$K_{\text{ом}} = T_{\text{рм}} T_{\text{ір}} / T_{\text{бм}} T_{\text{іб}}. \quad (1.12)$$

Як еталонний матеріал найчастіше приймається сталь 45 ( $\sigma_{\text{в}}=650$  МПа, НВ =207...255).

Номенклатура оброблюваних матеріалів та їх фізико-механічні властивості впливають на загальну кількість різального інструменту, що використовується при відновленні даної деталі. Збільшення ступеня різнотипності оброблюваних матеріалів призводить до необхідності застосування різального інструменту (навіть одного виду), виготовленого з різних марок матеріалів і з різними геометричними характеристиками різальної частини, що ускладнює організацію робіт з технологічної підготовки виробництва та служб матеріально-технічного постачання. Тому, раціональне обмеження марок застосовуваних матеріалів при відновленні – важливий напрям забезпечення технологічності відновлення деталей.

Розглянемо показники технологічності відновлених деталей з точки зору підвищення їх сумарного технічного ресурсу («тривалості життя деталі») – відновлюваність та кратність відновлення.

**Відновлюваність** – це властивість конструкції виробу, що забезпечує можливість придання їй в процесі ремонту номінальних або ремонтних розмірів і властивостей.

Відновлюваність деталей визначається такими факторами:

–застосуванням матеріалів і конструкцій, які дозволяють відновити їх до номінальних або ремонтних розмірів і забезпечують інші необхідні характеристики;

–наявністю на деталях, які підлягають відновленню, технологічних баз (центрувальних отворів, установних баз тощо), захищених від пошкоджень, що забезпечує можливість їх відновлення;

–застосуванням на швидкозношуваних деталях змінних частин;

–приспосованістю до відновлення прогресивними методами;

–обмеженням номенклатури деталей, що вимагають при відновленні складних технологічних процесів і спеціального обладнання.

Відновлюваність як властивість уже відновлених деталей проявляється при повторному (багаторазовому) їх відновленні. Кожен спосіб відновлення деталей накладає додаткові специфічні умови на можливість і доцільність її багаторазового відновлення. Так, деталь, відновлена способом пластичного деформування, часто вже не має запасу матеріалу на повторне використання цього способу (необхідний запас потрібно створити, наприклад, наплавленням). Відновлюваність – якісна характеристика деталі та кількісно не оцінюється.

Багато показників технологічності, як і фактори, від яких вони залежать, взаємопов'язані. Тому, технологічність деталей при відновленні слід розглядати, як правило, комплексно.

Найбільш загальний і повний критерій техніко-економічної оцінки якості відновлених деталей – сумарні питомі витрати на відновлення і експлуатацію деталей, що виражаються наступною цільовою функцією:

$$\Phi(t)=B/t+E(t)\rightarrow\min, \quad (1.13)$$

де  $B$  – витрати на відновлення, деталі;  $E(t)$  – експлуатаційні витрати;  $t$  – напрацювання деталі.

Додатковими групами показників якості відновлених деталей є показники рівня відновлення, естетичні показники та показники безпеки.

Комплексний показник ступеня відновлення деталей вказує на рівень показників якості відновленої деталі по відношенню до значень цих показників для нової (вихідної) деталі. У загальному випадку деталей відновлюється з показниками якості на одному з трьох рівнів: нижче за рівень нової, на рівні нової і вище за рівень нової деталі.

Естетичний показник якості відновлених деталей – досконалість виробничого виконання або, іншими словами, товарний вигляд, має не лише техніко-економічне, а й психологічне значення. Часто замовник з недовірою ставиться до якісно відновлених деталей тільки через те, що не ретельно виконано покриття та обробка поверхні, є сліди іржі або технологічних забруднень, деталі погано упаковані тощо.

Робота деяких типів відновлюваних деталей ходової частини автомобіля або механізмів керування (наприклад, поворотні кулаки переднього моста автомобіля, черв'як рульового керування та ін.) пов'язана з безпекою обслуговуючого персоналу або пасажирів. Для таких деталей дуже важливі показники безпеки. Як їх одиничний показник пропонується «імовірність безвідмовної роботи» – один з показників надійності.

Наведена номенклатура показників якості відновлених деталей повинна враховуватися при проектуванні технологічних процесів відновлення і може використовуватися для оцінки рівня якості на стадіях освоєння та серійного виробництва відновлених деталей.

Окремі (з групи основних) показники якості відновлених деталей необхідно відображати в ремонтному кресленнику – основному документі, що розробляється в системі технологічної підготовки виробництва з відновлення деталей машин.

## **1.5 Якість технологічного процесу відновлення деталі**

Поняття «якість відновлення деталей» є комплексним, містить в собі два взаємопов'язані поняття – вже розглянуте «якість відновлених деталей» (тобто. стандартизоване поняття «якість продукції») і «якість технологічного процесу відновлення деталей» (нестандартизований термін).

**Якість технологічного процесу відновлення** – сукупність властивостей, що обумовлюють отримання якісної продукції (відновлених деталей). У загальному випадку кількість зазначених властивостей технологічного процесу нескінченна.



Властивість технологічного процесу – його об'єктивна особливість, яка може проявлятися в період проектування, технологічної підготовки та безпосередньої реалізації технологічного процесу.

Усі властивості технологічного процесу можна розділити на групи:

– технічні (точність, стабільність, надійність, контролепридатність, номенклатурна поширеність, можлива кратність відновлення, рівень механізації та автоматизації, патентна чистота, рівень уніфікації та ін);

– економічні (продуктивність, трудомісткість, стабільність відновлення деталі та ін);

– ергономічні (гігієнічність, безпека, зручність виконання операцій та ін);

– екологічні (забруднення довкілля та ін.).

**Точністю** вважається властивість технологічного процесу забезпечувати відповідність поля розсіювання значень показника якості виготовлення продукції заданому полю допуску та його розташуванню.

**Стабільність** технологічного процесу – здатність зберігати сталість у часі параметрів розподілу аналізованого показника якості.

**Надійність** – властивість технологічного процесу забезпечувати в часі випуск відновлених деталей із встановленими показниками якості при заданій продуктивності та прийнятих умовах. Надійність технологічного процесу відновлення характеризується працездатністю – станом, при якому він забезпечує відновлення деталей за заданих умов з показниками якості та ритмом випуску (продуктивністю), встановленими в нормативно-технічній документації.

Методи оцінки надійності технологічних процесів відновлення вибирають виходячи з критеріїв відмови процесів (табл. 1.10).

Найважливіший показник надійності технологічного процесу відновлення – безвідмовність. У кількісному відношенні рівень надійності оцінюється ймовірністю безвідмовної роботи за встановлений проміжок часу  $P(t)$ .

Зазвичай окремі параметри якості відновлених деталей пов'язані у функціональному відношенні (з точки зору впливу їх на безвідмовність роботи технологічного процесу відновлення в цілому)

послідовно, тобто, поява відмови за будь-яким із установлених показників якості викликає відмову всього технологічного процесу.

Таблиця 1.10 – Критерії відмов за параметрами

<b>Критерії відмов за параметрами</b>		
якості відновлених деталей	продуктивності	витрачених ресурсів
Вихід одного з параметрів якості за граничні відхилення	Зниження ритму випуску нижче допустимого рівня (для поточно-механізованих ліній відновлення)	Перевищення встановлених нормативів за трудомісткістю відновлення
Вихід параметрів режимів технологічного процесу (операції) за встановлені межі	Невиконання заданого об'єму відновлення у встановлені терміни	Перевищення норм витрат матеріалів на відновлення інструментів, енергоресурсів та ін. Перевищення лімітів чисельності робітників

Отже, ймовірність безвідмовної роботи технологічного процесу відновлення, що складається з  $m$  операцій на проміжку часу  $0-t$ , визначиться за правилом множення ймовірностей:

$$P_{1-m}(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \dots P_m(t). \quad (1.14)$$

Надійність процесу відновлення формується на окремих технологічних операціях, що виконуються зазвичай послідовно (одна за одною). З точки зору ймовірності безвідмовної роботи це означає, що рівень надійності технології відновлення залежить, по-перше, від кількості операцій у процесі, що вказує на недоцільність розширення числа останніх; по-друге, від надійності виконання кожної операції.

Оцінка надійності процесу повинна враховувати і можливості контрольних операцій, що істотно підвищують надійність технологічного процесу. Справді, якщо отримана відмова за цим параметром, і він вийшов межі допуску, контрольна операція виключає цю деталь.

**Контролепридатністю** вважають властивість процесу відновлення, що забезпечує можливість, зручність та надійність контролю його функціонування відповідно до встановлених вимог, що особливо важливо для операцій, які формують рівень фізико-механічних властивостей деталі. Наприклад, до теперішнього часу практично відсутні методи контролю ходу зварювальних процесів, що не дозволяє перейти від пасивних методів реєстрації дефектів відновленої деталі до активних методів контролю, що запобігають появі дефектних виробів, тобто до статичного регулювання процесів наплавлення.

**Номенклатурна поширеність** – властивість технологічного методу забезпечити відновлення параметрів певної номенклатури деталей.

Останнім часом великого значення набули властивості технологічних процесів відновлення, що визначають їх придатність виконувати основну функцію в комплексі з людиною (ергономічні) і в комплексі з довкіллям (екологічні). Висока якість технології передбачає дотримання певних гігієнічних показників (рівнів вентиляваності, освітлення, токсичності, шуму, температури та ін.), наявність зручностей при виконанні окремих операцій технологічного процесу тощо.

Вирішення питань, що стосуються екологічних показників якості технології відновлення деталей, – частина актуальної проблеми охорони довкілля.

Економія матеріальних ресурсів (металу) за рахунок збільшення обсягів відновлення деталей та продуктивності технологічних процесів відновлення – певний внесок у вирішення екологічної проблеми.

Також необхідна екологізація технології, тобто, створення та використання таких технологічних процесів, які при максимальному отриманні високоякісного продукту забезпечили б збереження екологічного розвитку в природному середовищі і не допускали б його забруднення. Наприклад, відновлювати деталі нанесенням гальванічних покриттів з цієї точки зору доцільно тільки за умови концентрації гальванічного виробництва та наявності на них очисних споруд.

Технологічний процес відновлення має всі необхідні властивості, щоб вважати його системою:

– являє собою цілісний комплекс взаємопов'язаних елементів, якими виступають деталь, технологічні операції, режими та ін.;

– є елементом системи вищого порядку, наприклад, виробничого процесу ремонту машини в цілому;

– елементи технологічного процесу можуть розглядатися як системи нижчого порядку (наприклад, технологічна операція складається з наступних взаємопов'язаних елементів: обладнання, пристосування, інструменту, деталі, переходів).

Деталі відновлюють деформуванням, наплавленням, гальванопокриттям, зварюванням тощо. Проте, при цьому найчастіше відновлюється не сама деталь, а один або кілька її елементів.

У структурному відношенні технологічний процес відновлення деталі в загальному випадку можна розглядати як певним чином пов'язану сукупність способів усунення дефектів. При цьому має встановлюватися ступінчаста структура аналізу та управління. У випадку технологічного проектування намічається чотири основні ієрархічні рівні: 1– технологічного процесу; 2 – технологічного способу; 3 – операції; 4 – переходу.

Кожний технологічний процес відновлення деталі та його складові можуть бути представлені у вигляді функцій зі зв'язками між підсистемами «вхід» та «вихід». Елементарними об'єктами «входу» можуть бути: заготовка (зношена деталь), матеріал металопокриття, що наноситься, технологічне обладнання, інструмент, оснащення. Елементарними об'єктами «процесу» можуть бути: процес відновлення в цілому, технологічний спосіб відновлення, окремі операції, переходи, прийоми та ін. На «виході» всієї системи маємо відновлену деталь.

На рис. 1.13 показана структура загального технологічного процесу відновлення. Природно, зв'язки між окремими елементами процесу для багатьох типів деталей набагато складніші. Як підсистеми повинні виступати попередня механічна обробка, нанесення покриттів, термічна обробка, фінішна механічна обробка, зміцнююча обробка та ін.

У даний час розробляється система управління якістю відновлення деталей сільськогосподарської техніки.

Процес управління якістю виробів (відновлених деталей) повинен охоплювати основні стадії існування виробів: дослідження та проектування технологічних процесів відновлення, а також реалізацію процесів відновлення (стадія виробництва) та експлуатацію відновлених деталей (споживання).

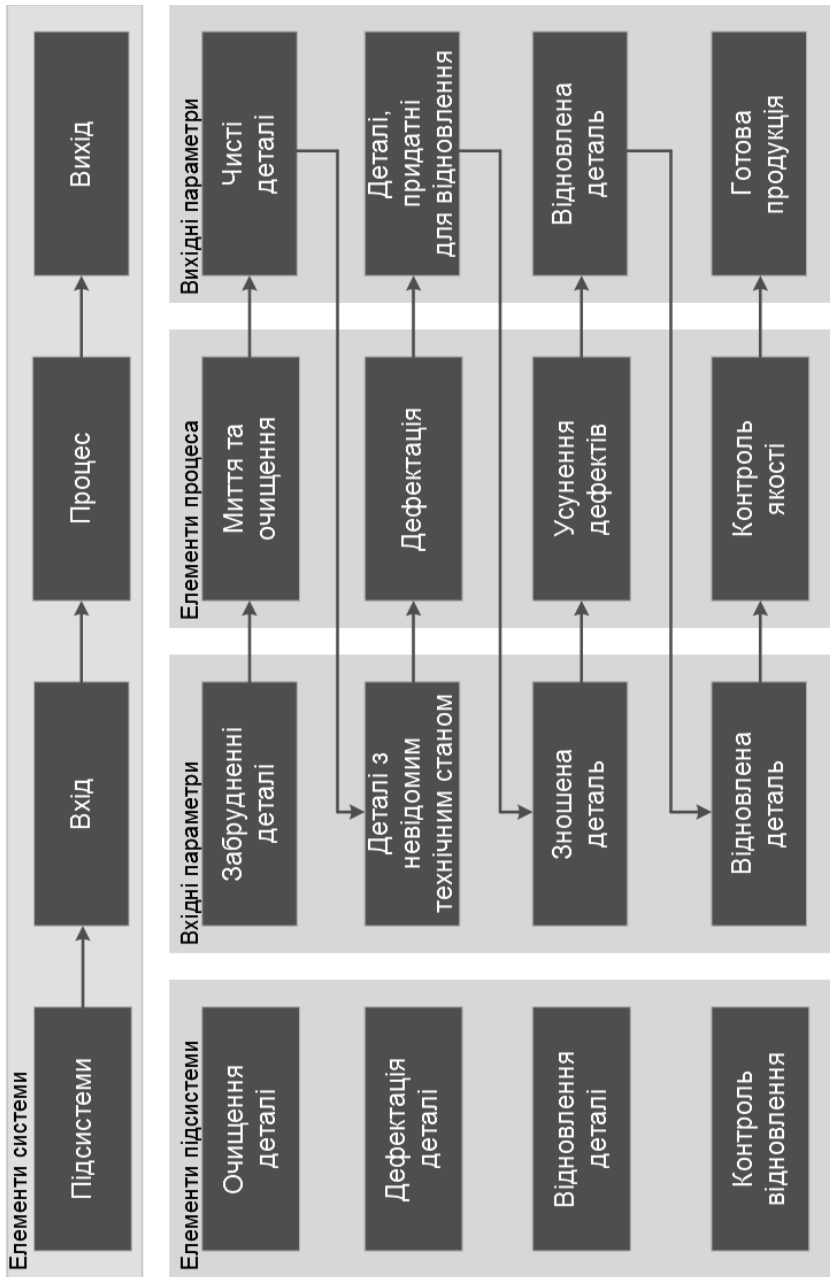


Рис. 1.13 – Структура технологічного процесу відновлення деталей

Між основними стадіями існують також перехідні періоди: технологічна підготовка виробництва, зберігання та транспортування деталей, складання зношених деталей та ін.

На стадії дослідження та проектування виконуються роботи, які впливають на рівень якості відновлених деталей. Результати роботи відображаються у науково-дослідних звітах, нормативно-технічній документації, проектних, технологічних і конструкційних документах.

На рис. 1.14 показано систему технологічного формування показників якості відновлених деталей на стадії виробництва.

Основний важіль управління системою забезпечення необхідних показників якості деталей – це елементи технологічного процесу: способи, обладнання, матеріали, режими, оснащення та ін. За допомогою певних способів очищення, дефектування, нарощування металу, механічної, термічної та зміцнювальної обробки, принципів базування, використання прогресивних матеріалів, раціональних режимів обробки, необхідного технологічного оснащення спрямовано формуються насамперед показники якості відновлених деталей 1-го рівня оцінки (показники призначення). При цьому встановлюються функціональні зв'язки  $\Phi_3$  (рис. 1.14).

Задані показники надійності та технологічності деталей досягаються при встановленні більш складних функціональних зв'язків  $\Phi_3$ , при цьому параметри показників призначення виступають вже в ролі факторів. За допомогою цих же зв'язків формуються показники якості 3-го рівня оцінки.

Таким чином, в цілому в системі досліджуються причинно-наслідкові зв'язки між параметрами технологічних процесів і показниками якості деталей, що відновлюються.

На стадії експлуатації чи споживання забезпечуються збереження якості відновлених деталей, їх повторне відновлення, а також здійснюються збір та обробка експлуатаційної інформації про якість відновлених деталей, на яку в загальній системі керування впливають окремі підсистеми (рис. 1.15).

## **1.6 Забезпечення технологічної спадковості при відновленні деталей**

Показники якості відновлених деталей формуються протягом усього процесу відновлення, при цьому окремі характеристики можуть переходити від операції до операції, тобто успадковуватися. Це явище отримало назву **технологічної спадковості**.

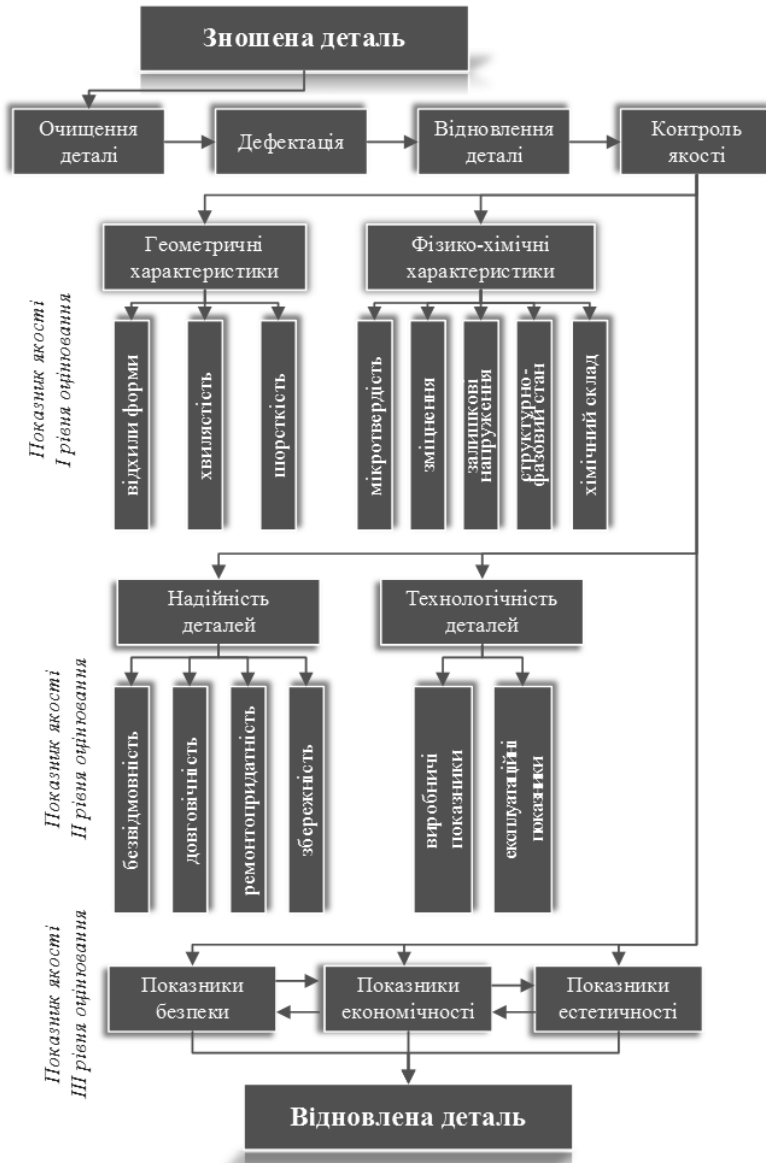


Рис.1.14 – Система технологічного формування показників якості відновлених деталей

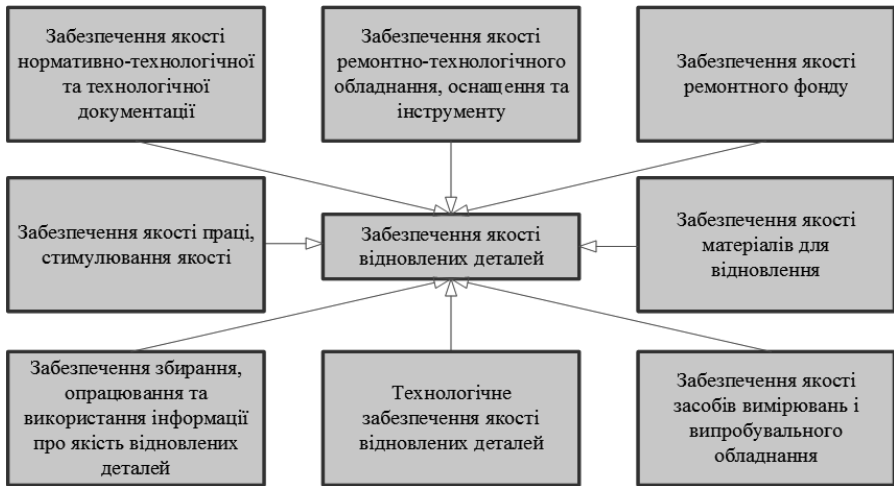


Рис.1.15 – Система забезпечення якості відновлених деталей

На відміну від виготовлення деталей при відновленні вказане явище розширюється і включає в себе також і **експлуатаційну спадковість**, тобто перенесення властивостей деталей, отриманих в результаті впливу на них різноманітних процесів при експлуатації, на властивості відновлених деталей.

Носії спадкової інформації – матеріал деталі та її геометричні параметри. Для більшості деталей залишкові явища руйнівних процесів усунути в період їх відновлення неможливо, і вони певним чином впливають на якість як окремих технологічних операцій, так і на відновлену деталь в цілому. Наприклад, на поверхні зношеної деталі завжди присутній дефектний шар товщиною до 200 мкм, що являє собою скупчення різних дефектів кристалічної структури (точкових дефектів, дислокацій, поверхневих і об'ємних дефектів), які виникають в результаті зміни будови металів та їх деформації (перетворення кристалічних решіток, утворення вторинних структур, фазові перетворення, рекристалізація, наклеп тощо).

Указаний дефектний шар негативно впливає на втомну міцність відновлених деталей, оскільки містить концентратори напружень, знижує міцність зчеплення покриттів з основним металом, позначається на показниках якості поверхні тощо.



Багато забруднень деталей машин, маючи властивості поверхнево-активних речовин, знижують поверхневу енергію матеріалу деталей і сприяють пластичному диспергуванню поверхні.

Ситуація ускладнюється ще й тим, що в один і той самий технологічний процес відновлення вступають різні за якістю заготовки (зношені деталі, що працювали в різних умовах експлуатації, мають різне напрацювання тощо).

З урахуванням цього в технологічному процесі відновлення повинні бути передбачені операції, що знижують вплив експлуатаційної спадковості на якість подальших операцій (очищення забруднень, видалення корозії, усунення дефектного шару, структуроскопія та ін.).

Ступінь впливу кожного експлуатаційного або технологічного фактору на кінцеві показники якості деталей не однакова. Вплив одних факторів поширюється до останньої операції, вплив інших зникає значно раніше. Деякі технологічні фактори здійснюють вплив лише на одній операції і вже на наступній не проявляються. Дуже сильний вплив на якість відновлених деталей мають фінішні операції.

Існують операції, що виконують роль своєрідних «бар'єрів» для успадкування. Вплив одних технологічних факторів зникає після таких «бар'єрів», інші проходять через «бар'єри», але їх вплив слабше. Такими «бар'єрами» в процесі відновлення можуть бути операції термічної або зміцнювальної обробки.

При відновленні зношених деталей різними способами нанесення металу на поверхню виникає неоднорідність властивостей отриманих покриттів за товщиною, тобто покриття також має дефектний шар (рис. 1.16), глибина якого залежить від способу відновлення. При газотермічному напилюванні глибина дефектного шару становить 0,02...1,0 мм; при наплавленні – 0,2...2,4 мм; при електролітичному осадженні – 0,02...0,05 мм; при заливанні рідкого металу – 1,0...1,5 мм. Дефектний шар впливає на точність подальшої механічної обробки.

Для опису впливу технологічної спадковості на зміну параметрів деталі застосовується формула

$$R_e = aR_{вих}^b \quad (1.15)$$

де  $R_e$  – значення параметра якості для остаточної операції;  $R_{вих}$  – значення того ж параметра для вихідної операції;  $a$ ,  $b$  – коефіцієнти технологічної спадковості (можуть визначатися на основі багатофакторного аналізу з отриманням рівнянь регресії).

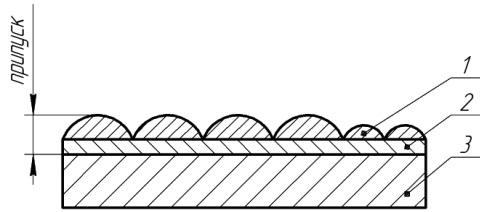


Рис.1.16 – Будова поверхневого шару відновленої деталі

При відновленні поршневих пальців тракторних двигунів прогресивним способом гідротермічної роздачі великий (близько 30%) процент браку після шліфування (підпали на зовнішній поверхні пальців в основному в середній частині) обумовлений низькою надійністю попередньої операції – роздачі пальця.

Унаслідок недосконалості прийнятого способу охолодження поршневих пальців прямоточним потоком пальці після роздачі приймають корсетоподібну форму і, як наслідок, – нерівномірний припуск на шліфування. Тому, був запропонований інший спосіб охолодження – спреєрний.

Параметри теоретичних законів розподілу прирощення діаметра поршневих пальців тракторного двигуна після гідротермічної роздачі наведені в табл. 1.11.

Як видно з рис. 1.17 і табл. 1.11, при застосуванні більш досконалого способу охолодження область розподілу прирощень зовнішнього діаметра поршневого пальця зміщується у бік збільшення прирощення, з урахуванням необхідного мінімального припуску (0,12 мм) на шліфувальну операцію можна зробити висновок, що в результаті вдосконалення технології відновлення підвищилася її надійність.

Таблиця 1.11 – Параметри теоретичних законів розподілу прирощення діаметра поршневих пальців тракторного двигуна після гідротермічної роздачі

Спосіб охолодження	Місце вимірювання діаметра	Закон розподілу	Математичне очікування, мкм	Середньоквадратичне відхилення, мкм	Параметр Вейбулла	
					<i>b</i>	<i>a</i> , мкм
Прямим потоком	Середній поясок	Вейбулла	152	28	2,76	81
Спреєрним	Те саме	Вейбулла	160	24	2,30	78

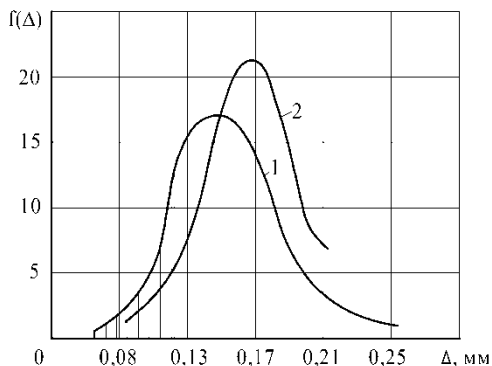


Рис.1.17 – Диференціальна крива розподілу прирощень зовнішніх діаметрів поршневих пальців під час гідростатичного роздавання: 1 – прямоточне охолодження; 2 – спреєрне охолодження (зона браку заштрихована)

Дійсно, ймовірність попадання в допустимі межі одного з основних параметрів якості відновлення пальців – зовнішнього діаметра – зростає з 0,9213 до 0,9511.

Явище технологічної спадковості характерне і для додаткових матеріалів, що використовуються в процесі відновлення. Наприклад, вихідна структура і властивості металевих порошоків, які застосовуються для нанесення покриттів, залежно від способу відновлення можуть успадковуватися на поверхні деталі або значно змінюватися.

При нанесенні покриттів у температурному режимі (0,4...0,95)  $T$  порошкового матеріалу (наприклад, електроімпульсним припіканням) збереження якості матеріалів гарантується таким, яким воно було закладено в найбільш сприятливих умовах виробництва порошку. У шарах, одержаних розплавленням порошкоподібних матеріалів, зазначені параметри для багатьох видів порошоків повністю не зберігаються.

### 1.7 Модернізація деталей під час відновлення

При відновленні та зміцненні деталі часто змінюються окремі її характеристики: геометричні розміри, матеріал окремих поверхонь, фізико-механічні властивості та ін. Таким чином, в машину встановлюється дещо інша деталь, ніж передбачена спочатку

конструктором. У тому випадку, коли відновлена деталь має показники якості вищі, ніж деталь, що випускається серійно, правомірно говорити про її модернізацію.

**Модернізація деталі** – це таке часткове оновлення машини, при якому усувається експлуатаційне моральне зношування другої форми окремих вузлів або агрегатів машини і (або) підвищується довговічність і ремонтпридатність деталі за рахунок внесення в конструкцію існуючих деталей необхідних змін та технічних удосконалень з урахуванням сучасних досягнень науки і техніки.

Ремонтна модернізація деталей має деякі принципові відмінності від відновлення деталей у звичайній формі.

По-перше, модернізація являє собою удосконалення деталі, що сприяє підвищенню якості роботи вузла, агрегату чи машини, яким ця деталь належить. Мета відновлення деталі – відтворення її первісних властивостей і початкових показників роботи вузлів, агрегатів, машин.

По-друге, модернізація – один із засобів розширеного відтворення деталей, оскільки вона проводиться не просто для відновлення початкових властивостей, а для поліпшення їх у порівнянні з початковими (підвищення технічного ресурсу відновлених деталей рівносильне збільшенню їх кількості).

По-третє, модернізація деталей в окремих випадках спрямована на підвищення технічного рівня виробів і усунення їх морального зносу другого роду (відновлення деталей усуває тільки фізичний знос машин).

Види модернізації деталей машин у процесі відновлення показані на рис. 1.18.

Часткова модернізація дозволяє підвищити якість відновлених деталей тільки в одному напрямку (наприклад, довговічність деталі підвищується зміною зносостійкості окремих поверхонь). У результаті проведення комплексної модернізації можна поліпшити декілька властивостей і характеристик як самої деталі, так і вузла або агрегату, до складу яких входить ця деталь.

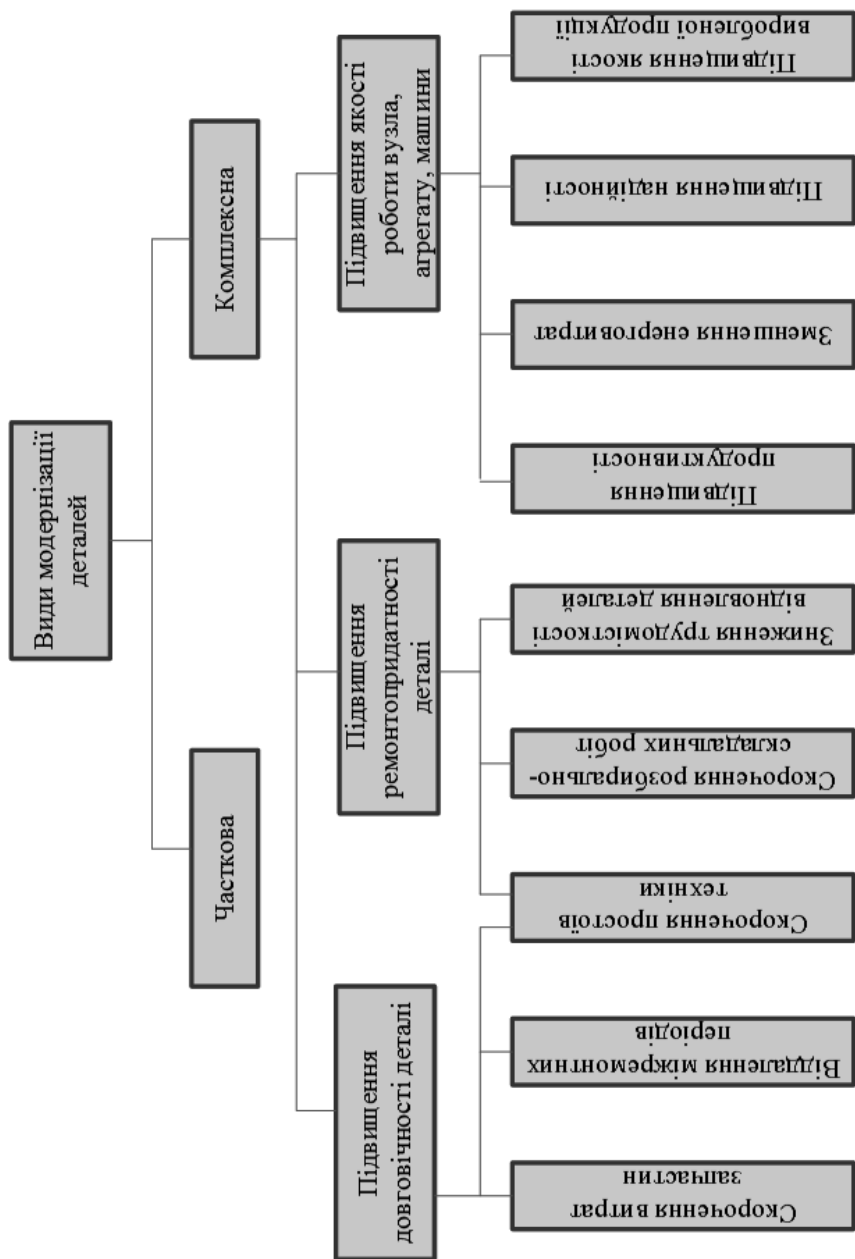


Рис. 1.18 – Види модернізації деталей машин у процесі відновлення

Наприклад, об'ємна подача шестеренного гідронасосу

$$Q = 2\pi bn \left( \frac{D^2}{4} - r_n^2 - \frac{t_o^2}{12} \right), \quad (1.16)$$

де  $b$  – ширина шестерні насоса, мм;  $n$  – номінальна частота обертання шестерень,  $\text{хв}^{-1}$ ;  $D$  – діаметр кола, мм;  $r_n$  – радіус початкового кола, мм;  $t_o$  – основний крок шестерні, мм.

Таким чином, основними параметрами, що впливають на експлуатаційний показник – подачу насосу – є ширина шестерень  $b$  та їх зовнішній діаметр  $D$ , тобто при розробці технології відновлення шестерень до цих величин і до їх відношення в першу чергу висуваються вимоги як до функціональних параметрів, а потім уже як до геометричних параметрів – розмірів. Відновлювати параметри до номінальних можна електроімпульсним наварюванням металевого порошку до вершин зубців і контактним приварюванням зубчастої пластини до торця шестерні, компенсуючи знос зубців по довжині.

Більш того, наварюванням порошку можна наростити висоту зуба шестерні до розміру дещо більшого за номінальний діаметр. Так, конструкція гідронасосів НШ-32У, НШ-46У і НШ-50У дозволяє довести діаметр кола виступів до  $D = 55,5^{+0,035}_{-0,070}$  мм (при номінальному діаметрі  $D = 55,0^{+0,035}_{-0,070}$  мм).

Збільшення функціонального параметра  $D$  для шестерень по відношенню до серійних зразків (за умови доведення решти параметрів до номінальних) призводить до їх модернізації, оскільки істотно зростає подача насосу.

## **1.8 Номенклатура деталей сільськогосподарської техніки для відновлення та зміцнення**

Розробка типізації, класифікації та уніфікації деталей за групами дозволяє найефективніше здійснювати організаційну та технологічну підготовку виробництва, а також підібрати найбільш раціональні методи їх відновлення. Такий науковий підхід забезпечує створення типових технологічних та конструктивних розробок, дозволяє постійно їх удосконалити та швидко переналагоджувати виробництво на відновлення деталей близької номенклатури, а також висувати єдині вимоги до якості, у тому числі і за використання принципово нових технологічних процесів [5], виходячи з умов експлуатації

деталей та призначення відновлюваної поверхні, запропоновано структурно-логічну схему конструктивно-технологічних параметрів деталей та їх взаємозв'язок (рис.1.19).

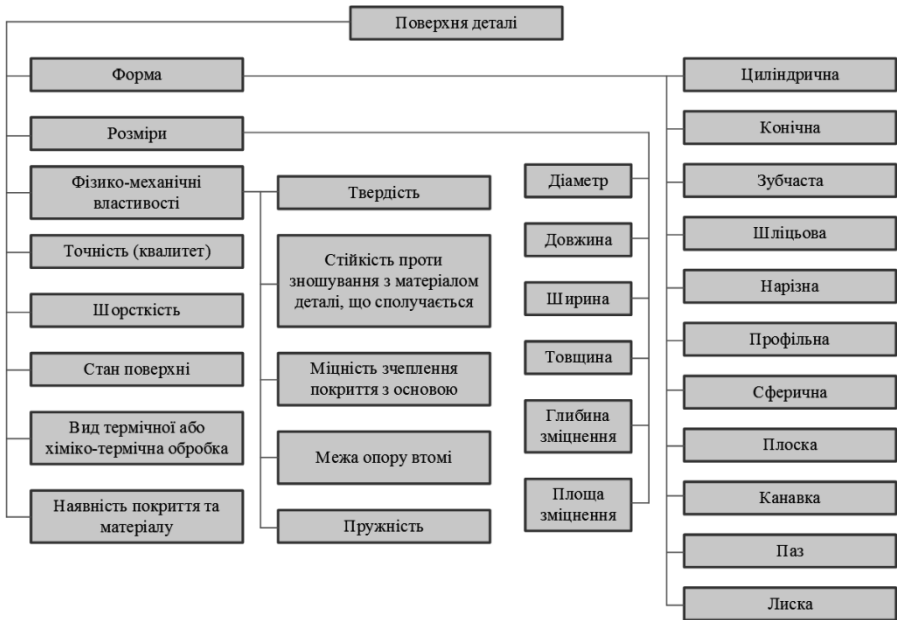


Рис.1.19 – Характеристика поверхонь деталей

Відповідно до запропонованої у цій роботі класифікації відновлювані поверхні діляться на основні, допоміжні, додаткові, технологічні та вільні. Такий поділ дозволяє характеризувати роботу деталі, навантаженість її поверхонь під час експлуатації вузла та машини. Структурно-логічна схема має дати повну характеристику деталі та умови її роботи. До параметрів відносяться: форма, розміри, матеріал, маса, наявність дефектів і зносу. Важливою характеристикою деталі є її фізико-механічні властивості, точність, шорсткість, ступінь зміцнення робочої поверхні.

На кафедрі технологічних систем ремонтного виробництва ХНТУСГ ім. П. Василенка, професорами Пилипенко М.С. та Науменко О.А. [2] на базі накопиченого досвіду та розглянутих процесів їх зносу запропонована наступна класифікація деталей сільськогосподарської техніки (табл. 1.12).

Таблиця 1.12 – Класифікація деталей сільськогосподарської техніки

<b>Клас</b>	<b>Підклас</b>	<b>Основні технологічні завдання відновлення</b>
1	2	3
<b>Деталі типу тіл обертання</b>		
01. Стрижні круглі	01.1 Вали колінчасті	Ексцентрично розташовані
	01.2 Вали розподільні	Забезпечення профілю кулачків
	01.3 Вали гладкі та ступінчасті	Зовнішні, в основному циліндричні поверхні
	01.4 Вали шліцові	Шліцові та циліндричні поверхні
	01.5 Осі, штоки	Циліндричні поверхні
02. Циліндри порожнисті	02.1 Гільзи циліндрів	Внутрішні та зовнішні циліндричні поверхні
	02.2 Стакани, маточини, втулки	Внутрішні, зовнішні та торцеві поверхні
	02.3 Вали пустотілі, осі порожнисті	Внутрішні та зовнішні
03. Диски	03.1 Диски, маховики, шків	Зовнішні, внутрішні та торцеві поверхні великого діаметра; балансування деталей
	03.2 Катки, направляючі колеса	, Те ж, що і 03.1, але більший знос
	03.3 Фланці, ролики	Зовнішні, внутрішні та торцеві поверхні



Продовження табл.1.12

1	2	3
04. Дрібні	04.1 Поршневі пальці	Зовнішні поверхні циліндричні
	04.2 Валики вентиляторів, штовхачі, осі шестерень	Зовнішні поверхні циліндричні
	04.3 Клапани деталі паливної апаратури	Зовнішні поверхні циліндричні
05. Колеса зубчасті	05.1 Шестерні	Зубчастий вінець
	05.2 Зірочки	Зуби та западини зірочок
Деталі, які не є тілами обертання		
06. Важелі	06.1 Шатуни	Нижня та верхня головки, площини роз'єму, шатун та кришки з високою точністю обробки та взаємним розташуванням
	06.2 Тяги, важелі	Отвори та торці головок із заданою точністю їх взаємного розташування
	06.3 Кронштейни, стійки коромисла	
07. Корпусні	07.1 Блоки циліндрів	Тріщини в перемичках між отворами під гільзи, поверхні та неспіввісності
	07.2 Головки блоків циліндрів	Клапанні гнізда, площини прилягання до блоку
	07.3 Корпуси	Циліндричні та плоскі поверхні з високими вимогами до точності їх обробки та розташування, закладення тріщин

Продовження табл.1.12

1	2	3
08. Тонкостінні	08.1 Кришки, кожухи, картери	Плоскі поверхні, закладення тріщин, відновлення гладких та нарізних отворів
	08.2 Деталі облицювання	Усунення вм'ятин, закладення тріщин
09. Плоскісні	09.1 Вилки перемикання передач	Плоскі робочі поверхні
	09.2 Ножі різальних апаратів	Плоскі робочі поверхні, леза
10. Профільні	10.1 Леміші, Лапи	Леза та геометрія
11. Спеціальні	11.1 Пружини	
	11.2 Ресори	
	11.3 Радіатори, ланки гусениць та ін.	
	11.4 Трубопровід, патрубки	Працездатність, геометричні розміри

Аналізуючи дані табл. 1.12, можна помітити, що деталі різного класу та підкласу суттєво відрізняються за технологічними завданнями відновлення, що пов'язано з умовами їхньої роботи.

Типові поверхні та основні параметри відновлюваних деталей у своїй сукупності визначають вибір обладнання, матеріалу та технологічного процесу або їх поєднання, що забезпечує досягнення необхідного комплексу структури металу, фізико-механічних властивостей та задоволення вимог щодо якості поверхні, що відновлюється. Розглянуті параметри деталей, що відновлюються, слід оцінювати як основні критерії працездатності вузлів і машин в цілому.

При відновленні особливе значення набуває не тільки міцність відновленої поверхні, але й деталі в цілому, оскільки, розігриваючи

робочий шар при термічній або хіміко-термічній обробці, наплавленні, в окремих випадках і при використанні високоенергетичних джерел енергії має місце зміцнення перехідного шару, серцевини, що може порушити її службові показники, зокрема знизити жорсткість, тобто. призвести до втрати форми, поломок. Так, при вигині валу опорні ділянки (цапфи) перекошуються в вальницях, відбувається нерівномірний і підвищений знос вкладишів. Це, у свою чергу, призводить до перегріву та заїдання у вальницях ковзання, знижує їхню довговічність. Недостатня жорсткість деталей зубчастих передач призводить до нерівномірного розподілу навантаження довжиною контактних ліній зубів. У таких випадках можливі їх поломки.

Дуже важливою умовою працездатності вузлів при експлуатації деталей машин є збереження їхньої працездатності в заданому температурному режимі. Це забезпечується достатньою теплостійкістю матеріалу. У процесі експлуатації та в результаті тертя виникають значні втрати потужності, що супроводжуються інтенсивним тепловиділенням, що призводить до розігріву вузла. У зв'язку з цим деталі, виготовлені з матеріалів або з термічною обробкою, схильною до зміцнення, можливі порушення суцільності або втрата форми.

Найбільше зношуються і підлягають відновленню деталі циліндричної форми класів 01 і 02. Крім основних параметрів деталей, що відновлюються, для вибору способу відновлення деталей важливими є умови їх роботи (тип сполучення, види тертя і відносне переміщення поверхонь при експлуатації, температурний режим та робоче середовище (таб.1.13).

Дефекти поверхонь деталей поділяються на групи з невідповідності: розмірів (до 75%), форми (до 18%), шорсткості (до 4,0%), фізико-механічних властивостей (до 2%), порушення суцільності (до 1%). З цього випливає, що для відновлення деталей основним методом є нарощування зношеного шару.

Номенклатура деталей для відновлення вибирається в кілька етапів.

При достатньо високому технічному ресурсі відновлена деталь може працювати весь термін служби машин даної марки, а не до списання окремої машини зазначеної марки.

Таблиця 1.13 – Показники умов експлуатації деталей, що відновлюються

Основні показники експлуатації			Кількість від загальної кількості відновлених деталей, %
Поєднання поверхонь	Характеристика		
		Тертя	Відносного переміщення
Нерухоме досягається: посадкою допоміжними деталями	і Тертя спокою	-	33-36
		-	25-28
Рухоме	Ковзання	Поступальне	2,0-2,5
		Зворотньо-поступальне	2,9-3,5
		Обертальне	10,0-12,0
Рухоме	Кочення	обертальне	0,25-0,32
		Зворотньо-обертальне	1,2-1,6
	Кочення прослизанням	з Перекочування та ковзання	7,0-7,7
	Ударні навантаження	Контакт із зазором	0,1-0,2
Непов'язані поверхні	Ковзання	Обробіток ґрунту	3,0-3,5
		Технологічне подрібнення	0,4-0,6
		Транспортування матеріалів	0,1-0,2

У цьому випадку відновлена деталь за свій термін служби працюватиме на кількох машинах до припинення виробництва даної марки машин. З цих умов і визначають максимально допустимий ресурс відновленої деталі, який може бути рівний терміну служби машини або навіть парку машин.

Мінімальний технічний ресурс відновленої деталі повинен бути не нижче міжремонтного ресурсу роботи машини. Інакше вимушена

заміна цієї деталі (до ремонту) вимагатиме додаткових затрат, які іноді перевищують вартість самої відновленої деталі.

Таким чином, технічний ресурс відновлюваної деталі повинен відповідати такій умові:

$$T_{mp} \leq T_{\partial} < T_{mз}, \quad (1.17)$$

де  $T_{mp}$  – міжремонтний ресурс роботи машини;  $T_{\partial}$  – технічний ресурс відновленої деталі;  $T_{mз}$  – загальний ресурс роботи даної марки машини на початок використання відновленої деталі.

Крім того, технічний ресурс відновленої деталі має бути кратним міжремонтному ресурсу роботи машини.

Число міжремонтних термінів служби відновленої деталі

$$h_{\partial} = \frac{S_{\partial}}{S_{\epsilon}}, \quad (1.18)$$

де  $S_{\partial}$  – допустиме значення зносу деталі, мм;  $S_{\epsilon}$  – значення зносу відновленої деталі за міжремонтний період роботи машини, мм.

Значення  $h_{\partial}$  округлюють до цілих одиниць, частки одиниці відкидають, оскільки частки міжремонтної роботи машини практично не реалізуються.

Число міжремонтних термінів служби нової деталі

$$h_{нд} = \frac{S_{\partial}}{S_n}, \quad (1.19)$$

де  $S_n$  – знос нової деталі за міжремонтний період роботи машини, мм.

Значення  $S_{\epsilon}$  і  $S_n$  визначають у результаті дефектування (мікрометражу) деталей при ремонті машин (агрегатів); значення  $S_{\partial}$  – за діючими технічними умовами та вказівками з дефектування деталей і спряжень при ремонті відповідної машини (агрегату).

На третьому етапі визначають економічну доцільність відновлення, враховуючи таку умову.

Максимальна приведена вартість відновлення деталі не повинна перевищувати вартості еквівалентних за технічним ресурсом числа нових деталей, тобто має виконуватися така умова:

$$B_{\epsilon} + EK_{num} < \frac{h_{\partial}}{h_{нд}} \Pi_n, \quad (1.20)$$

де  $B_{\epsilon}$  – вартість відновлення деталі, грн.;  $E=0,15$  – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень;  $K_{num}$  – питомі

капітальні вкладення при відновленні за даним способом, грн./шт.;  $C_n$  – ціна нової деталі, грн.

Ця умова може бути виражена через коефіцієнт економічної доцільності відновлення деталі:

$$K_{ed} = \frac{h_{ed} C_n}{h_{nd} (B_e + EK_{num})}, \quad (1.21)$$

Деталь економічно відновлювати за даним способом, якщо коефіцієнт  $K_{ed} > 1$ .

Найважливішу номенклатуру відновлення деталей кожної марки машини слід визначати за питомим економічним ефектом у розрахунку на одну машину, що одержується від відновлення кожного найменування:

$$E_{num} = m K_e \left( \frac{h_{ed}}{h_{nd}} C_n - (B_e + EK_{y\partial}) \right), \quad (1.22)$$

$m$  – кількість деталей одного найменування на машині;  $K_e$  – коефіцієнт відновлення деталей даного найменування.

Отримані значення  $E_{num}$  розташовують у порядку зменшення економічного ефекту.

До найважливішої номенклатури відновлюваних деталей відносять найменування деталей, що дають 75% усієї економії, що отримується від відновлення деталей даної марки машини (агрегату).

Для побудови та вдосконалення систем виробництва відновлення деталей важливе практичне значення має обґрунтований розподіл номенклатури між основними підрозділами ремонтної бази.

Результати розрахунків за номенклатурою найважливіших відновлюваних деталей, що визначають економіку та якість ремонту машин і агрегатів, показують, що в цехах спеціалізованих майстерень і заводів для власних потреб доцільно відновлювати близько 35,9% номенклатури деталей; 42,8% деталей залежно від поєднання дефектів відновлюють як на підприємствах, так і в кооперації зі спеціалізованими виробництвами; 21,3% деталей підлягають лише централізованому відновленню.

Аналіз складу деталей сільськогосподарської техніки показує (табл. 1.14), що майже 85% деталей становлять металовироби та нормалі. Зрозуміло, при централізованому індустріальному виробництві можна знайти ефективні методи відновлення цих деталей

за умови забезпечення високого ступеня механізації та автоматизації технологічних процесів.

Таблиця 1.14 – Склад деталей сільськогосподарської техніки

№ п/п	Деталі	Склад, %
1	Нормалізовані	84,93
2	Типові У тому числі: просторових форм тіл обертання	14,44 5,80 8,64
3	Індивідуальні	0,63

Серед деталей тіл обертання найбільшу питому вагу мають вали. Параметри конструктивних елементів деталей класу «вали» показані на рис. 1.20, а характеристики деталей за масою на рис. 1.21.

Найбільш поширеними довжинами та діаметрами деталей є відповідно 350...400 мм та 45...50 мм. Ці дані необхідні, наприклад, для розробки ремонтно-технологічного обладнання.

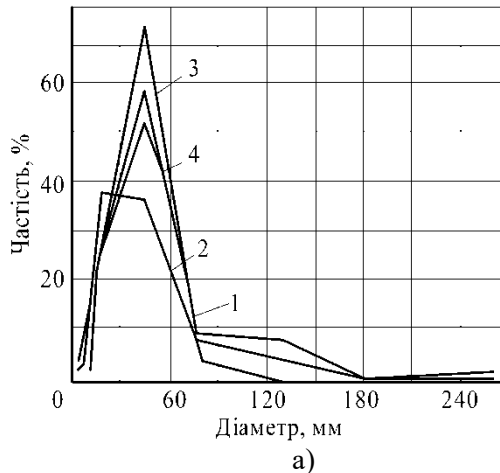
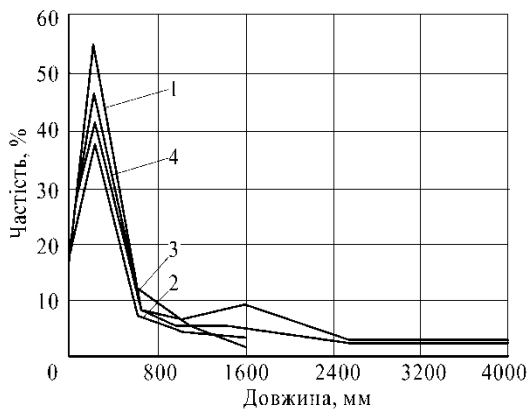


Рис.1.20 – Розподіл діаметрів (а) і довжин (б) валів сільськогосподарської техніки: 1 – трактори; 2 – автомобілі; 3 – сільськогосподарські машини; 4 – усі машини



б)  
Продовження рис.1.20

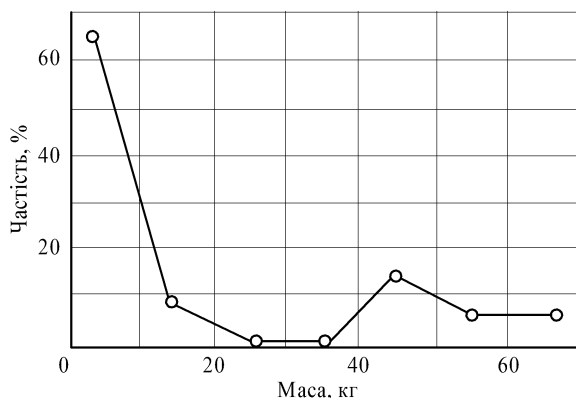


Рис.1.21 – Розподілення мас валів сільськогосподарської техніки

За видами матеріалів, з яких вони виготовлені, основна маса деталей поділяється на сталеві, чавунні, деталі з алюмінієвих сплавів, бронз і латуні, а також пластичних мас.

Характерні групи деталей із цих видів матеріалів показані на рис. 1.22.

У зв'язку з постійним переоснащенням сільського господарства новими високопродуктивними машинами та зняттям із виробництва старих номенклатура деталей для відновлення періодично уточнюється.



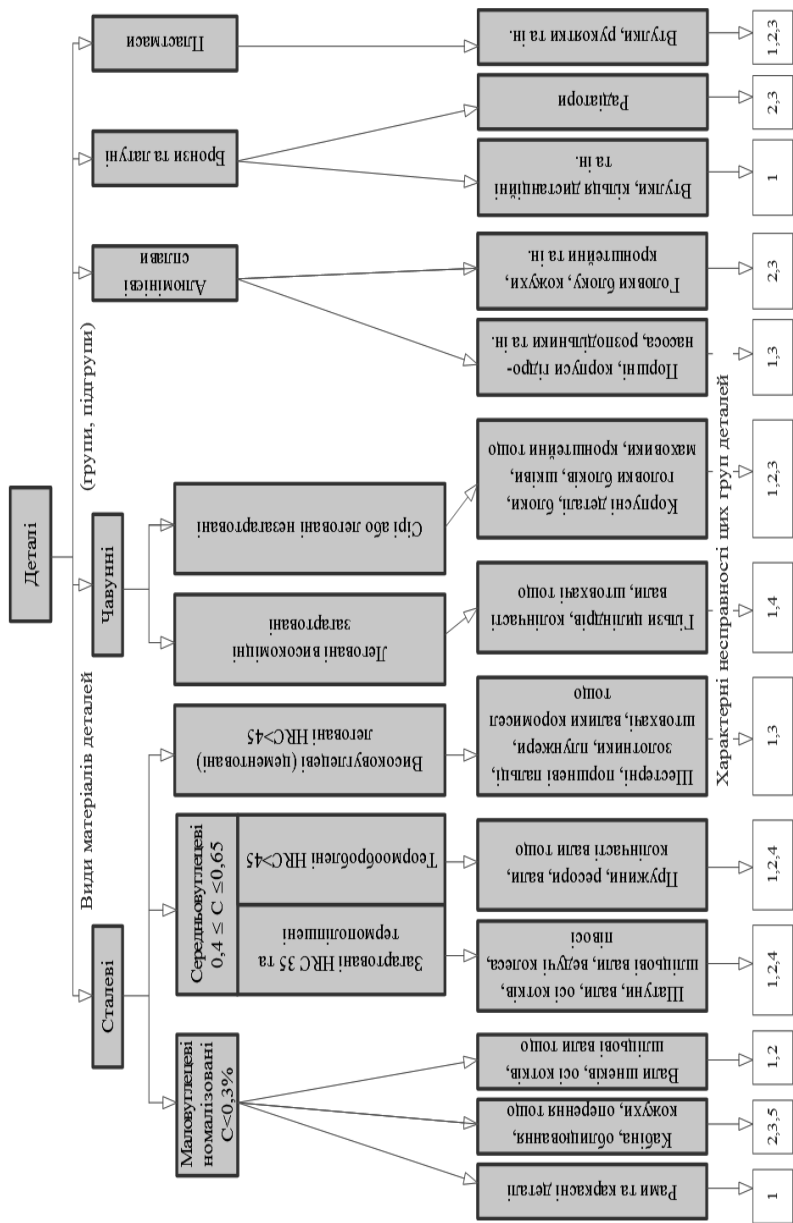


Рис. 1.22 – Розподіл деталей машин на групи залежно від їхніх матеріалів і характерних несправностей: 1 – зношування поверхонь; 2 – деформації; 3 – тріщини і поломки;

4 – зміна фізико-механічних властивостей матеріалу; 5 – корозія

## 1.9 Розробка стратегії відновлення та зміцнення деталей машин

З точки зору споживача машин (або запасних частин) найвищому рівню якості відповідали б деталі, які протягом повного терміну служби машини не потребують заміни та відновлення. У цьому випадку можна задати раціональну границю підвищення довговічності деталі – доведення її терміну служби до рівня повного терміну служби машини, тобто  $t_n = T_n$ , де  $t_n$ ,  $T_n$  – повний термін служби відповідно деталі та машини;

$$T_n = \sum (T_{m_1} + T_{m_2} + \dots + T_{m_i}), \quad (1.23)$$

$T_{m_1}, T_{m_2}, \dots, T_{m_i}$  – міжремонтні терміни служби машини.

Деталь зазвичай складається з нерівноресурсних (нерівномісних, нерівнозносостійких) конструктивних елементів.

Розглянемо деякі варіанти відновлення та зміцнення деталі.

1. Елемент 1 зміцнюють на заводі-виробнику так, щоб нижня границя довірчого інтервалу середнього ресурсу зміцненого елемента перевищувала суму доремонтного та першого міжремонтного ресурсів машини.

2. Елемент 1 відновлюють при ремонті машини, одночасно зміцнюючи його так, щоб нижня межа довірчого інтервалу середнього ресурсу цього елемента перевищувала суму доремонтного, першого міжремонтного та другого міжремонтного ресурсів. При другому капітальному ремонті машини конструктивний елемент 2 відновлюють, щоб він міг безвідмовно працювати до наступного капітального ремонту. При цьому три конструктивні елементи деталі (1, 2 та 3) вичерпують свій ресурс при третьому капітальному ремонті машини.

3. Найслабший елемент 1 зміцнюють на заводі-виробнику, при цьому його ресурс доводять до повного ресурсу машини. При другому капітальному ремонті відновлюють елементи 2 і 3, щоб вони могли працювати ще три міжремонтні періоди. Таким чином, ресурси елементів 1, 2 і 3 порівнюють з ресурсом  $i$ -го елемента, і деталь стає практично рівнозносостійкою.

При виборі варіанта зміцнення або відновлення деталі рекомендується керуватися такими міркуваннями.

1. Зі збільшенням зносостійкості одного або декількох елементів деталі зростає термін служби деталі та зменшується кількість відновлень за повний термін служби машини (якщо деталь ремонтпридатна). Якщо деталь неремонтпридатна, скорочується кількість деталей, що замінюються під час ремонту, та зменшуються витрати на складально-розбірні роботи.

2. Зі збільшенням зносостійкості елементів у більшості випадків знижуються експлуатаційні витрати, оскільки зменшується кількість припрацювань нових сполучень, при яких спостерігається підвищений рівень питомих експлуатаційних витрат, що припадають на одиницю напрацювання машини.

3. Зі збільшенням зносостійкості елементів підвищуються витрати на виготовлення та відновлення деталі.

Таким чином, оптимізувати стратегію відновлення деталей необхідно з використанням техніко-економічного критерію, яким вважають витрати, що припадають на одиницю напрацювання за повний ресурс машини.

### **1.10 Оптимальний момент відновлення деталей машин**

При експлуатації машини в її деталях наростаючим підсумком протікає велика кількість різних процесів, які в кінцевому рахунку обумовлюють роботу як самих деталей, так і машини в цілому. При цьому існують елементи машин, зниження працездатності яких безпосередньо впливає на експлуатаційно-економічні показники машини. Наприклад: знос леміша плуга зумовлює підвищення тягового опору трактора, збільшує витрати палива; знос диска сошника впливає на глибину закладення насіння, що пов'язано з врожайністю; знос шестерень гідронасоса знижує його продуктивність, що, у свою чергу, веде до збільшення часу спрацювання гідравлічних механізмів тощо

Проте існує й інший різновид елементів машин, поступове спрацювання яких малою мірою впливає (зовні) на економічні показники роботи агрегату або машини (наприклад, корпуси, шестірні та вали трансмісії, сполучення колінчастий вал - вкладиш та ін.). Для елементів такого типу економічні втрати неможливо передбачити – вони виникають у разі потреби усунення наслідків аварійного дефекту

(тріщин, поломок, схоплювань та інших.), тобто для цих елементів економіка роботи обумовлена певним ризиком аварії.

Відновлювати або замінювати елемент необхідно в той момент або при такому значенні параметра стану, коли це економічно найвигідніше. При цьому критерієм оптимізації є витрати, що припадають на одиницю напрацювання машини.

З точки зору даного критерію віддалення моменту відновлення елемента (тобто значне зміна діагностичного параметра стану деталі по відношенню до початкової величини) має два різних економічних наслідки:

а) позитивне, оскільки витрати на відновлення у перерахунку на одиницю напрацювання в міру віддалення моменту відновлення скорочуються;

б) негативне, оскільки у міру віддалення моменту відновлення зростають експлуатаційні витрати машини (погіршуються експлуатаційно-економічні параметри, зростає ризик аварії, знижуються потужність і продуктивність тощо).

Виходячи з цього, можна отримати цільову функцію відновлення, з якої видно, що елементи доцільно відновлювати при такому значенні параметра  $D$ , при якому відношення суми витрат на відновлення та витрат на експлуатацію машини до суми напрацювань досліджуваних елементів мінімально:

$$\Phi(D) = \frac{\sum_{i=1}^n A_i + \sum_{i=1}^n U_i(D)}{\sum_{i=1}^n t_i(D)} \rightarrow \min, \quad (1.24)$$

де  $\Phi(D)$  – сумарні питомі витрати на відновлення та експлуатацію при досягненні технічного стану  $D$ ;  $D$  – значення параметра стану;  $n$  – обсяг вибірки об'єктів;  $A_i$  – витрати відновлення  $i$ -го елемента;  $U_i(D)$  – витрати на експлуатацію елемента від початку до досягнення технічного стану  $D$  (або до моменту відновлення для елементів, що не досягли стану  $D$ );  $t_i(D)$  – напрацювання  $i$ -го елемента від початку експлуатації до досягнення технічного стану  $D$  (або до моменту відновлення елементів, що не досягли стану  $D$ ).

Якщо всі складові в (1.24) для індивідуальних елементів замінити середніми значеннями, то для середнього елемента

$$\Phi[\bar{t}(D)] = \Phi(\bar{t}) = \frac{nA + nU(\bar{t})}{n\bar{t}(D)} = \frac{A + U(\bar{t})}{\bar{t}(D)}, \quad (1.25)$$

де  $\Phi(\bar{t})$  – сумарні середні питомі витрати на відновлення та експлуатацію при досягненні технічного стану  $D$ ;  $A$  – середні витрати на відновлення;  $D$  – середні витрати на експлуатацію до досягнення технічного стану  $D$ , що відповідають напрацюванню  $\bar{t}(D)$ ;  $\bar{t}(D)$  – середнє напрацювання до стану  $D$ .

Як видно з графічної інтерпретації функції (1.25), показаної на рис. 1.23, оптимальний момент відновлення (або оптимальне значення параметра  $D_0$  відповідає мінімуму функції  $\Phi(\bar{t}_0)$ .

З метою встановлення локального мінімуму функції  $\Phi(\bar{t})$  продиференціюємо рівняння (1.25) і, прирівнявши до нуля першу похідну, одержимо

$$\frac{dU(\bar{t}_0)}{d\bar{t}_0} = [A + U(\bar{t}_0)]\bar{t}_0. \quad (1.26)$$

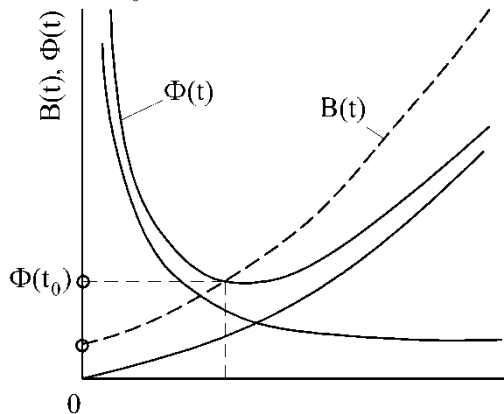


Рис. 1.23 – Залежність питомих витрат на відновлення та експлуатацію від напрацювання

Права частина рівняння (26) у відповідності до (1.25) дорівнює  $\Phi(\bar{t}_0)$ , ліва частина – миттєвим витратам на експлуатацію, що відповідають оптимальному напрацюванню  $\bar{t}_0$ . Це означає, що в

оптимальний момент відновлення, тобто при досягненні  $\bar{t}(D_0)$  миттєві витрати на експлуатацію  $B(\bar{t}_0)$  дорівнюють сумарним питомим витратам  $B(\bar{t}_0) = \Phi(\bar{t}_0)$ . Функція миттєвих витрат має велике практичне значення, оскільки дані для її побудови легко отримати або безпосереднім вимірюванням діагностичних параметрів в даний момент часу і переведенням їх у вартісний вираз, або обробкою експериментальних даних.

Таким чином, для визначення оптимального моменту відновлення елемента достатньо знати функцію миттєвих витрат  $B(\bar{t})$ , значення витрат на відновлення елемента  $A$  і залежність середнього напрацювання  $\bar{t}(D)$  від величини діагностичного параметра.

З вигляду цільової функції (1.24) та рис. 1.23 витікають кілька висновків:

- 1) оптимальний момент відновлення і відповідне йому оптимальне значення параметра стану (норматив для відновлення) не є постійною величиною і залежать від стабільності вхідних даних (цін, застосовуваної технології та організації відновлення, умов експлуатації, рівня якості відновлених деталей тощо);
- 2) відхилення від нормативу можливі в обох напрямках і призводять до економічних втрат.

Припустимо, що з якихось причин відновлення елемента відбувається не в оптимальний момент  $\bar{t}_0$ , а до досягнення нормативу, наприклад у момент  $t_1$  або після, наприклад у момент  $\bar{t}_2$  (рис. 1.24). Визначити втрати в цьому випадку можна як за допомогою функції середніх питомих витрат  $\Phi(\bar{t})$ , так і за допомогою функції миттєвих витрат  $B(\bar{t})$ .

На рис. 1.24 показано варіант графічного визначення втрат за допомогою функції  $\Phi(\bar{t})$ . В цьому випадку абсолютне значення втрат:

для моменту  $\bar{t}_1$

$$\Pi(\bar{t}_1) = [\Phi(\bar{t}_1) - \Phi(\bar{t}_0)] \bar{t}_1; \quad (1.27)$$

для моменту  $\bar{t}_2$

$$\Pi(\bar{t}_2) = [\Phi(\bar{t}_2) - \Phi(\bar{t}_0)] \bar{t}_2; \quad (1.28)$$

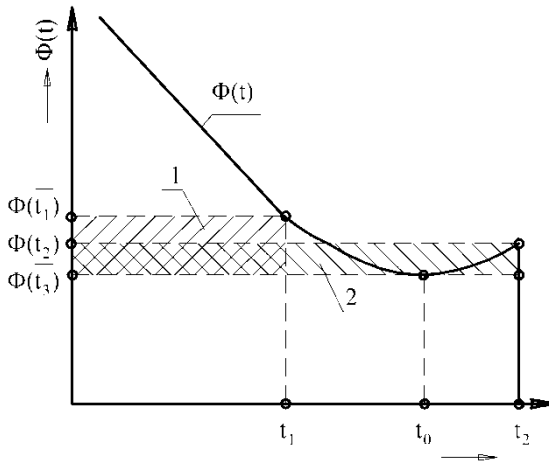


Рис.1.24 – Визначення економічних втрат у разі відхилення від нормативів: 1 – втрати для моментів  $t_1$ ; 2 – втрати для моментів  $t_2$

Ці втрати відповідно рівні заштрихованим ділянкам 1 і 2 (рис. 1.24). Якщо функція  $\Phi(\bar{t})$  подана у вигляді формули, втрати через недотримання нормативу можна розрахувати й аналітично.

На практиці економічні втрати найчастіше розраховують тоді, коли у оптимальний час неможливо відновити елемент через необхідність подальшої експлуатації машини (при сезонних роботах) або у разі групування (поєднання) операцій відновлення різних елементів машин у межах системи (складальної одиниці, вузла, агрегату та ін.).

### 1.11 Допуски на розміри відновлених деталей

У відремонтований вузол можуть входити нові, відновлені та частково зношені, але придатні до подальшої експлуатації деталі. Отже, точність механізмів при ремонті машин характеризується допусками на розміри нових і відновлених деталей і заданими зносами деталей, що були в експлуатації, але придатні для подальшої роботи.

Можливості різкого збільшення зносостійкості відновлених деталей дозволяють з нових позицій підійти до питання про їхню раціональну точність. Запас точності є функцією зносостійкої робочої пари, застосування зносостійких покриттів дозволяє розширити поля допусків відновлених деталей порівняно з новими при збереженні встановленого запасу точності для нових сполучень.

Визначення допуску посадки на відновлену пару графічним способом показано на рис. 1.25.

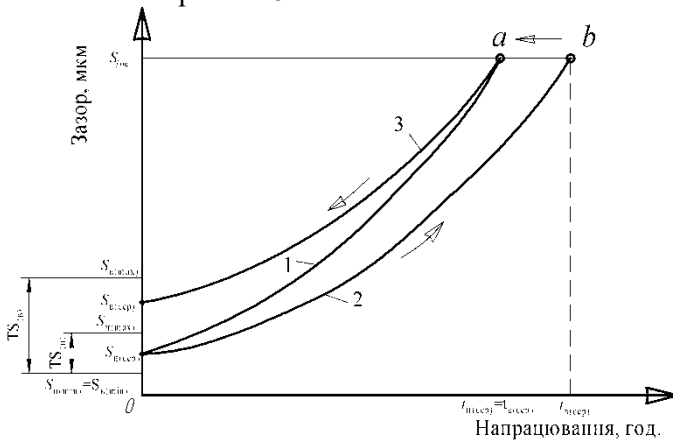


Рис.1.25 – Формування допуску посадки із зазором на відновлення спряження

Нові спряження задані допуском на виготовлення (допуски посадки)  $TS_n$ , обмеженими мінімальним  $S_{n(\min)}$  і максимальним  $S_{n(\max)}$  зазорами. Середній зазор нового спряження  $S_{n(\text{серед})} = \frac{S_{n(\min)} + S_{n(\max)}}{2}$ .

Функція зміни зазору  $S_{n(\text{серед})}$  у новому спряженні в залежності від напрацювання зображена кривою 1, яка досягає граничного зазору  $S_{\text{лім}}$  в точці  $a$ , що відповідає напрацюванню  $t_{n(\text{серед})}$ .

Якщо для відновлення спряження, що має рівні з новим спряженням допуски посадки, вибрати більш зносостійкі матеріали покриттів, функція зміни середнього зазору являтиме собою криву 2, яка досягає  $S_{\text{лім}}$  у точці  $b$ . При цьому напрацювання  $t_{b(\text{серед})} > t_{n(\text{серед})}$ .

З метою забезпечення рівності ресурсів нових і відновлених спряжень  $t_{n(\text{серед})} = t_{b(\text{серед})}$  точку  $b$  суміщаємо з точкою  $a$  та здійснюємо спуск по кривій 3, еквідистантній до кривої 2. Тоді, за рахунок зміни зносостійких покриттів або зносостійких пар тертя одержуємо збільшення середнього зазору до значення  $S_{\nu(\text{серед})}$ . Приріст  $\Delta S = S_{\nu(\text{серед})} - S_{n(\text{серед})}$  у цьому випадку визначає збільшення допуску посадки відновленого спряження. І навпаки, у випадку застосування незносостійких матеріалів або незадовільних пар тертя допуск посадки на відновлення буде зменшено.



## Контрольні питання до розділу 1

1. Визначення термінів: технічний об'єкт, продукція, виріб, заготовка.
2. Основні етапи життєвого циклу деталей машин.
3. Визначення основних характеристик деталей машин, що визначають їх працездатність.
4. Причини виходу деталей із ладу.
5. Характерні види пошкодження деталей машин при експлуатації.
6. Класифікація руйнівних процесів у деталях.
7. Види дефектів у деталях та їхні наслідки.
8. Види оцінки технічного стану деталей.
9. Класифікація технологічних методів відновлення деталей машин.
10. Показники якості відновлених деталей.
11. Визначення надійності та її показників.
12. Властивості технологічного процесу відновлення деталей.
13. Структура технологічного процесу відновлення деталей.
14. Види модернізації деталей машин у процесі відновлення.
15. Класифікація деталей сільськогосподарської техніки.
16. Варіанти відновлення та зміцнення деталі.

## РОЗДІЛ 2. ЗАГАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

### 2.1 Виробничий та технологічний процеси відновлення деталей

**Виробничий процес** – сукупність взаємопов’язаних дій людей і знарядь виробництва, необхідних на даному підприємстві для відновлення деталей.

У виробничий процес відновлення входять не тільки основні операції з переведення ремфонду, що надходить, у працездатний стан, а й допоміжні операції, до яких відносяться: підготовка засобів виробництва та організація обслуговування робочих місць, транспортування об’єктів відновлення та необхідних матеріалів, приймання, доставка та складування ремфонду, а також видача замовнику відновлених деталей.

**Технологічним** є частина виробничого процесу, що містить дії щодо зміни та визначення технічного стану деталей, що відновлюються. Його розчленовують на складові операції та інші елементи.

**Технологічна операція** – закінчена частина технологічного процесу, що виконується на одному робочому місці, тобто на частині виробничої площі цеху, де розміщені один або декілька виконавців роботи та одиниця технологічного обладнання, що обслуговується ними.

Технологічна операція – основа для виробничого планування технологічного процесу, тобто для розрахунку трудомісткості процесу, необхідної кількості робітників за кваліфікацією та ін.

Структурний підрозділ операції – **технологічний перехід**, тобто закінчена частина технологічної операції, що характеризується сталістю застосовуваного інструменту та оброблюваних поверхонь. Розрізняють також **установи** як частину технологічної операції, що виконується при незмінному закріпленні, і позицію як фіксоване положення заготовки з пристосуванням по відношенню до інструмента або нерухомої частини обладнання.

**Технологічне обладнання** – знаряддя виробництва, в яких для виконання певної частини технологічного процесу розміщують об’єкти ремонту або матеріали, засоби впливу на них, а при необхідності – джерела енергії. До ремонтно-технологічного обладнання відносяться металообробні верстати, зварювальні та наплавні установки, нагрівальні печі, випробувальні стенди та ін.

**Технологічна оснастка** – знаряддя виробництва, що додаються до обладнання для виконання технологічного процесу. Прикладами технологічного оснащення служать різні пристосування для базування і затискання складальних одиниць, що ремонтуються, а також інструменти, прес-форми тощо.

Загальна схема виробничого процесу відновлення деталей на спеціалізованому підприємстві та виділена в ньому частина – технологічний процес – зображені на рис. 2.1.

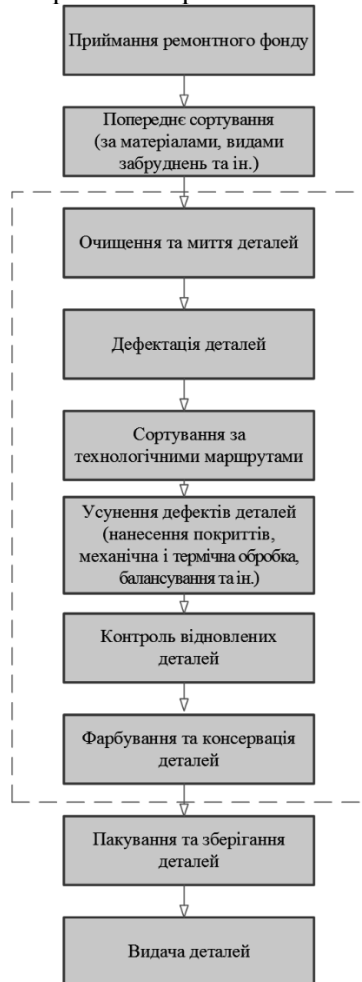


Рис. 2.1 – Схема загального технологічного процесу відновлення деталей

## 2.2 Очищення деталей машин

Очищення – одна з найважливіших підготовчих операцій під час відновлення деталей. Основна вимога до якості очищення – повне видалення всіх забруднень, що дозволяє визначити дійсний технічний стан деталі, встановити рівень її придатності для відновлення і призначити спосіб усунення кожного дефекту. Класифікація забруднень сільськогосподарської техніки наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Класифікація забруднень сільськогосподарської техніки

Клас забруднень	Тип забруднень	Забрудненість поверхні, мг/см <sup>2</sup>
I. Залишки палива, оливи і мастил	Залишки картерних олив у двигунах	10...250
	Залишки трансмісійних, моторних і автотракторних олив	5...150
	Консистентні мастила	25...500
	Консерваційні мастила	10...15
	Відкладення бруду та олив	30...3500
II. Відкладення бруду	Пилобрудові відкладення	30...5000
	Залишки добрив і отрутохімікатів	3...25
	Рослинні залишки	-
III. Асфальтосмолисті відкладення	Смолисті відкладення паливної системи	3...5
	Аморфні опади	3...10
	Структуровані опади	5...20
IV. Вуглецеві відкладення	Лакові відкладення	до 3
	Нагар	до 25
V. Неорганічні забруднення	Накип	20...40
VI. Захисні покриття	Продукти корозії та механічного зносу деталей	
	Старі лакофарбові покриття	до 1,2

Застосовуються такі способи очищення деталей: механічні, хімічні та фізико-хімічні.

Спосіб очищення деталей залежить від виду забруднень, конструкції та матеріалу деталей, обсягу виробництва, спеціалізації виробництва та інших факторів. При виборі способу очищення необхідно виходити з можливості отримання найбільшої економічної ефективності, раціональної технології та необхідної якості для очищення деталей.

На неспеціалізованих підприємствах із широкою номенклатурою продукції найбільш поширене механічне очищення деталей у поєднанні з хімічними або фізико-хімічними способами.

При механічному способі очищення деталей забруднення видаляють струменями води, скребками та щітками (вручну) або механізовано-кістковою крихтою, металевим піском, у обертових (галтувальних) барабанах і віброабразивним способом.

Очищення струменями води – традиційний спосіб. Для підвищення ефективності такої очистки в струмінь воли вводять пар і абразив. Гідроабразивний спосіб очищення застосовується для деталей, забруднених корозією, окалиною, нагаром. Як абразив використовують кварцовий пісок, окис алюмінію, карбід бору і кремнію з розмірами частинок 0,8... ...1,0 мм.

Для видалення з поверхні деталей плівок лакофарбових покриттів, продуктів корозії та нагару використовують механізований інструмент.

Створено спеціальні установки для очищення від нагару щітками (крацювання) поршнів, клапанів, головок блоку, від накипу зовнішніх поверхонь гільз циліндрів.

Очищення кістковою крихтою застосовується для видалення нагару та лакових плівок з поверхонь деталей із алюмінієвих сплавів.

Очищення деталей металевим піском може використовуватися з різною метою: для очищення нагару та лакових плівок, старої фарби та продуктів корозії; підготовки поверхонь деталей при напилюванні та гальванопокритті; для зняття окалини, очищення після термообробки та у багатьох інших випадках.

Для очищення металевим піском використовуються установки дробоструминного та дробометального типів. У першому випадку для надання металевому абразиву кінетичної енергії використовується струмінь стисненого повітря, у другому – відцентрова сила, що виникає при обертанні ротора з лопатками, на які подається абразив.

Як матеріали застосовуються дріб з вибіленого чавуну, чавунний пісок з меленого дробу, з подрібненої стружки після

механічної обробки, сталевий литий пісок, сталевий пісок з колотого дробу та алюмінієвий пісок.

Очищення в обертових (галтувальних) барабанах (ОМ-6068 і ОМ-6470) полягає у взаємному терті деталей і абразиву, завантажених у барабан. Гарні результати дає мокре галтування. Галтування застосовується для очищення деталей від іржі, окалини, задирок, нагару, лакових плівок. Залежно від виду забруднень вибирається відповідний мийний розчин. Режими очищення: частота обертання барабана  $10 \dots 16 \text{ хв}^{-1}$ , тривалість очищення деталей типу клапанів, клапанних пружин, штовхачів від вуглецевих відкладень  $10 \dots 15 \text{ хв}$ .

При віброабразивному очищенні забруднення з поверхні деталей видаляють впливом на них абразивними матеріалами і в результаті взаємодії виробів, що очищаються. Віброабразивне очищення рекомендується для деталей складної форми та малих розмірів (важелі, кулаки, клапани, пружини та ін.).

У якості абразивного середовища можна застосовувати фарфорову крихту, металевий дріб, битий мармур (або абразив) та ін. Вибір абразиву залежить від конструкції, матеріалу та призначення деталей, що очищаються, а також від виду та ступеню їхнього забруднення. Режим роботи установки визначається частотою коливачів контейнера ( $1430 \dots 2060$  за хвилину) та амплітудою коливачів ( $1 \dots 5 \text{ мм}$ ). Віброабразивні установки можуть додатково оснащуватися насосом і фільтром для очищення мийного розчину. Як мийна рідина використовуються слабкі розчини кальцинованої соди.

Віброабразивне очищення може застосовуватися для видалення з поверхні деталей нагару, лакових плівок, продуктів корозії, окалини та неорганічних забруднень. Істотний недолік цього очищення – підвищений шум.

При капітальному ремонті машин найбільшу кількість деталей очищають хімічними методами. Це пояснюється насамперед можливістю механізації та автоматизації виробництва, високою продуктивністю процесів та якістю очищення. Допустима залишкова забрудненість поверхні деталей повинна становити  $0,1 \dots 0,25 \text{ мг/см}^2$ .

Хімічними способами можна видаляти практично всі види забруднень. Але найчастіше вони використовуються для очищення поверхні виробів від оливних забруднень, вуглецевих відкладень, накипу та старої фарби. У ремонтному виробництві хімічні методи дедалі ширше застосовуються при видаленні продуктів корозії.

Залежно від виду забруднень, що видаляються, всі способи хімічного очищення поділяють на дві групи: знежирення і травлення.

Знежиренням називають процеси видалення з поверхні деталей забруднень, хімічно не пов'язаних з матеріалом виробів (оливних, дорожнього пилу та бруду, залишків шліфувальних паст, абразиву та ін.).

Травлення на відміну від знежирення застосовують для видалення забруднень, міцно пов'язаних з матеріалом виробу та утворених повністю або частково за рахунок хімічного перетворення його поверхневих шарів (окаліну, продукти корозії, накип та ін.).

Відповідно до механізму видалення забруднень хімічні засоби для очищення можна згрупувати в 4 класи (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Класи хімічних засобів для очищення

<b>Клас очищувальних засобів</b>	<b>Склад очищувальних засобів</b>	<b>Типовий представник</b>	<b>Температурний режим застосування, °С</b>
Лужні мийні засоби	Луги, лужні солі	Каустик	80...100
Синтетичні мийні засоби (СМЗ)	Синтетичні поверхнево-активні речовини та натрієві солі неорганічних кислот	МЛ-51, МЛ-52, Лабомид-101, Лабомид-203, МС-8, Темп-100	70...100
Розчинники	Вуглеводні та їхні галоїдні похідні	Гас, дизпаливо, трихлоратилен	20...60
Розчинні емульгуючі засоби (РЕЗ) РЕЗ-І	Вуглеводні, ПАВ,	АМ-15, ДВП-1, термос	20...50
РЕЗ-ІІ	стабілізатори Хлоровані вуглеводні, ароматичні вуглеводні, ПАВ	Ритм	20

У табл. 2.3 наведені склади знежирювальних розчинів (технічних мийних засобів загального призначення), що найчастіше застосовуються для очищення деталей при ремонті машин.

Таблиця 2.3 – Склад знежирювальних розчинів

Склад мийних засобів, %	Лабомид		МС			
	101	203	6	8	15	16
Сода кальцинована	50	50	40	38	44...42	40
Тринатрійфосфат	-	-	-	-	-	-
Триполіфосфат	30	30	25	25	22	26
Метасилікат натрію	16,5	10	29	29	28	28
Карбамід	-	-	-	-	-	-
Синтанол ДС-10	3,5	8	6	-	-	-
Синтамід-5	-	-	-	8	-	-
Оксифоз-5	-	-	-	-	6...8	-
Синтамід-510	-	-	-	-	-	4
Алкілсульфати	-	2	-	-	-	-
Оксифоз КД-6	-	-	-	-	-	-

Знежирення в лужних сумішах може здійснюватися зануренням або струминним поливанням. Вибір обладнання для знежирення залежить від кількох факторів: розмірів і маси виробу, що очищується, виду забруднення та місця операції знежирення.

Існують моніторні, струменеві, занурювальні та комбіновані машини.

Для технологічних процесів, що відрізняються великою специфічністю (очищення блоків і колінчастих валів та їх оливних каналів, паливних баків, системи охолодження двигунів та ін.) передбачається створення спеціальних машин.

Моніторні машини призначені для гідродинамічного очищення поверхні машин та складальних одиниць.

Струменеві мийні машини виготовляються у трьох виконаннях: камерні тупикові, камерні прохідні та камерні прохідні секційні. Струменеві машини застосовуються для очищення деталей розчинами синтетичних мийних засобів, а іноді простою водою. Роль цих машин зводиться до видалення відкладень оливи та бруду, загального очищення, ополіскування та пасирування деталей після обробки зануренням, а також після деяких видів механічної обробки.



Сутність занурювального способу очищення полягає в зануренні об'єкта очищення в мийний розчин з наступною витримкою в ньому.

Комбіновані мийні машини є поєднанням занурювальних і струминних мийних машин в одному агрегаті. У комбінованих мийних машинах вдало поєднуються переваги занурювальних (мала енергоємність, велика продуктивність, простота конструкції) та струменевих (велика швидкість очищення) машин.

Велике значення для вдосконалення занурювальних способів очищення має метод активації розчину, оскільки виварювання в спокійній рідині є неефективним. Механічну дію на забруднення забезпечується переміщенням деталей, створенням штучної вібрації, перемішуванням мийної рідини, використанням ультразвукових коливань тощо.

Фізико-хімічні способи видалення забруднень з поверхні деталей підвищують вартість очищення, зменшують пожежну небезпеку за рахунок застосування негорючих мийних сумішей та поліпшують умови праці.

Застосовуються такі фізико-хімічні способи очищення деталей: ультразвукове, електролітичне та термічне.

Ультразвук інтенсифікує очищення деталей у кілька десятків разів. Переваги цього способу очищення в порівнянні з іншими – висока чистота поверхні деталей, компактність обладнання, можливість очищення різних видів забруднень, висока культура виробництва.

Ультразвуковий спосіб може застосовуватися при митті та очищенні деталей системи живлення та електрообладнання автотракторних двигунів, видалення забруднень з колінчастих валів, шатунів, елементів оливних фільтрів, трубопроводів та інших деталей від вуглецевих відкладень, окалини, продуктів корозії, оливних та інших забруднень

Для отримання коливань ультразвукової частоти використовуються механічні та електромеханічні випромінювачі. Останні (п'єзоелектричні та магнітострикційні) набули найбільшого поширення. Для ультразвукових ванн застосовуються магнітострикційні перетворювачі типу ПМС-4, ПМС-6, ПМС-7 та їх модифікації.

Ультразвукові ванни (УЗВ) широко застосовуються на ремонтних заводах, а також працюють в комплексі з генераторами

серії УЗГ, які живлять перетворювачі струму ультразвукової частоти. Температура розчину при ультразвуковому очищенні 70...80°C.

Електрохімічне очищення відбувається внаслідок впливу на виріб кількох факторів, що залежать як від властивостей розчинів, що застосовуються як електроліт, так і від дії електричного струму. Миюча дія розчину посилюється механічним впливом бульбашок газів, що виділяються на електроді.

Електрохімічне очищення може проводитися при катодному та анодному включеннях деталей. При катодному включенні деталей на поверхні виділяється водень, що викликає енергійне перемішування електроліту біля поверхні виробу і механічне відділення жирів та інших забруднень, при анодному включенні – кисень, який сприяє відділенню забруднень. Анодне знежирення аналогічне описаному, але процес йде значно повільніше, тому що на аноді виділяється менша кількість газу (кисню).

Електрохімічне знежирення проводять у лужних складах, один з яких містить, г/л:

тринатрійфосфат .....	30... 40
вуглекислий натрій .....	40
рідке скло .....	5...8

Щільність струму залежить від ступеня забруднення і коливається в межах 0,3 ... 3 кА/м<sup>2</sup>. Оптимальною є напруга на затискачах в межах 6 ... 10 В.

Електрохімічний спосіб широко використовується для очищення деталей від неорганічних забруднень – продуктів корозії, окалини та оксидів, а також для електрохімічного травлення. З цією метою застосовують розчини сірчаної та фосфорної кислот.

За допомогою термічного очищення видаляють численні види забруднень: вуглецеві відкладення на деталях двигунів, старе лакофарбове покриття, смолисті відкладення в трубопроводах гідравлічної системи гальм та ін.

Деталі нагрівають і витримують при температурі 600...650 °С у газових або електричних печах. Продукти, що залишилися, видаляють стисненим повітрям або щітками. Так очищають впускні та випускні трубопроводи, кришки клапанних коробок та оливопроводи двигунів від вуглецевих відкладень.

До термічного способу слід віднести і очищення від окалини, іржі та накипу деталей у розплавах солей. Температура розплаву

450°C. Склад – їдкий натр ( $NaOH$ ) і їдкий калій ( $KOH$ ) у співвідношенні 2:1.

Процес очищення триває 20...30 хв., його якість підвищується при додаванні 1-10%-го хлористого натрію ( $NaCl$ ). Для розкислення в розплав рекомендується додавати 0,1-0,2% карбиду кальцію ( $CaC_2$ ). Після витримки в розплавлених солях деталі промивають водою і нейтралізують у 10%-му розчині фосфорної кислоти. Якість очищення в розплавлених солях більш висока порівняно з механічним та очищенням у хімічних розчинах.

### 2.3 Дефектоскопія деталей машин

Виявлення та охарактеризування дефектів деталей на підприємствах з їх відновлення ведуть методами та прийомами дефектоскопії, яка поділяється на дві частини: **дефектацію** та **структуроскопію**. Класифікацію способів дефектоскопії наведено у табл. 2.4.

На ремонтних підприємствах контроль деталей насамперед зводиться до їх геометричних розмірів, тобто, до вимірювання лінійних та кутових величин.

При вимірюваннях застосовують абсолютний, відносний, непрямий та комплексний методи.

Вибір універсального вимірювального інструменту для дефектації можна проводити за номограмою, зображеною на рис. 2.2.

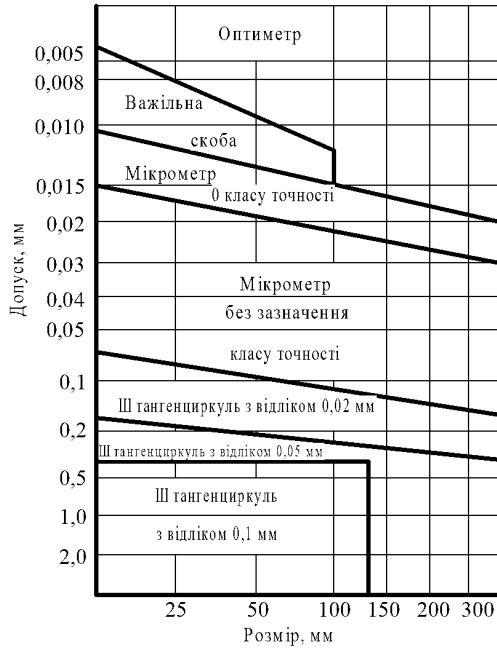
Найбільш поширеними способами структуроскопії деталей є магнітні, ультразвукові та капілярні.

Таблиця 2.4 – Класифікація способів дефектоскопії

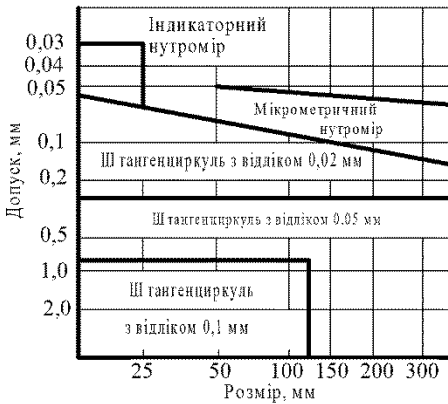
Вид дефекту	Прояв дефекту	Спосіб дефектоскопії	
		Дефектація	Структуроскопія
1	2	3	4
Знос	<p>Зміна: - розмірів</p> <p>- геометричної форми</p> <p>- фізико-механічних властивостей</p> <p>- структури матеріалів</p> <p>- маси</p> <p>Порушення якості поверхні</p>	<p>Зміна та перевірка геометричних параметрів (способи штучних геометричних баз, мікрOMETрування залишкової товщини покриття)</p> <p>Вимірювання похибок форми поверхонь (мікрOMETрування, важільно-оптичні прилади)</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>Зважування, балансування</p> <p>Вимірювання шорсткості, органолептичні способи</p>	<p>-</p> <p>-</p> <p>Методи вимірювання твердості (статичні та динамічні), вимірювання пружності</p> <p>Вимірювання твердості, визначення кількості залишкового аустеніту, металографічні методи</p> <p>-</p> <p>-</p>

Продовження табл. 2.4

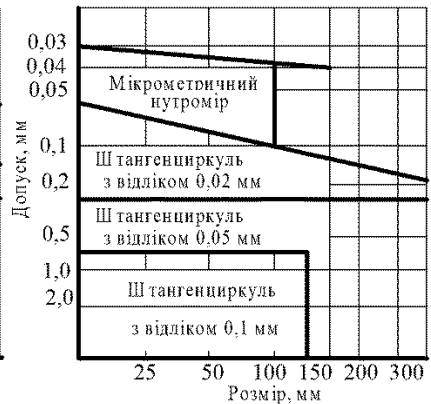
1	2	3	4
Відкладення або наноси	Те саме	Органолептичні	-
Деформації	Зміна геометричної форми	Вимірювання похибок форми деталей (мікрометрування, важільно-оптичні, електричні прилади)	-
Руйнування деталі	Зміна міцності  Порушення герметичності	Органолептичні, лінійні вимірювання  Органолептичні	Капілярні, магнітні, індукційні, рентгенівські, ультразвукові Гідравлічні та пневматичні випробування



а)



б)



в)

Рис. 2.2 – Номограми для вибору вимірювальних засобів: а – для зовнішніх циліндричних поверхонь; б – для отворів; в – для глибини пазів

**Магніто-порошковий** метод дефектоскопії використовується для виявлення поверхневих та близько розташованих до поверхні тріщин, раковин та несучільності металу у феромагнітних деталях. Магнітний потік, проходячи через деталь, в місцях з дефектами змінює свою величину і напрямок (рис. 2.3), що реєструється нанесеним на досліджувану деталь (після її намагнічування або в присутності намагнічуючого поля) магнітним порошком – він осідає по краях тріщини.

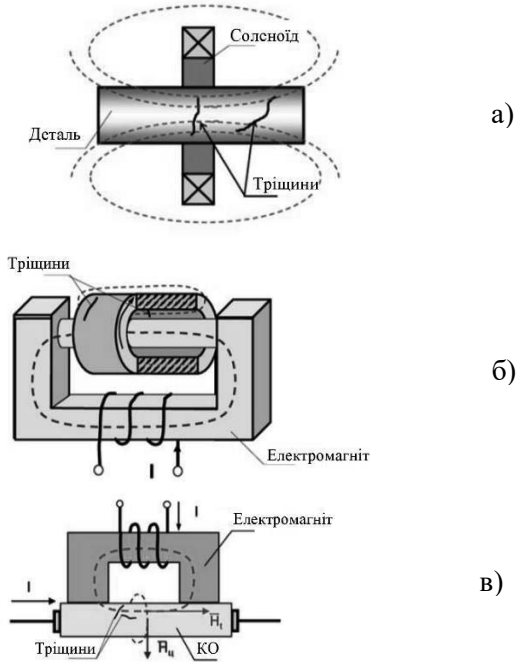


Рис. 2.3 – Схеми намагнічування деталей змінним струмом:  
 а – соленоїдом у вигляді котушки; б – циркулярне намагнічування;  
 в – комбіноване намагнічування

Феромагнітний порошок (зазвичай прожарений оксид заліза – прокус) застосовують у сухому вигляді чи у вигляді суспензії, тобто зависі порошку в трансформаторній оливі або гасі (1:30, 1:50).

Для виявлення дефектів, розташованих перпендикулярно до осі деталі, використовують намагнічування в полі соленоїда (рис. 2.3, а), розташованих вздовж осі деталі – циркулярне намагнічування

(рис. 2.3, б), а в різних напрямках – комбіноване намагнічування (рис. 2.3, в).

Більш досконалий метод виявлення дефектів, що ґрунтується на властивостях звукових хвиль, – **ультразвуковий** (рис. 2.4).

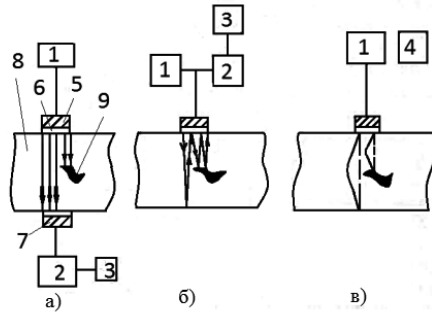


Рис. 2.4 – Схеми ультразвукового контролю : а – тіньовий метод; б – ехо-метод; в – резонансний метод: 1 – блок генератора; 2 – блок підсилювача; 3 – блок індикатора; 4 – блок реєстрації резонансів; 5 – демпфер; 6 – випромінювач; 7 – демпфер приймальної голівки; 8 – контрольований об'єкт; 9 – дефект

З великої кількості різних ультразвукових дефектоскопів найбільш поширені імпульсні, що складаються з генератора електричних коливань високої частоти (генератора імпульсів), випромінювача, приймача (щупа), електронно-променевої трубки (індикатора), підсилювача відбитих імпульсів та генератора розгортки електронно-променевої трубки.

Імпульсний генератор збуджує пластинку випромінювача (щуп), в результаті чого він посилає в метал деталі, що перевіряється, короткі імпульси коливань тривалістю 0,5...10,0 мкс, за якими слідує пауза тривалістю 1,5 мкс. Якщо деталь не має дефектів, імпульси від випромінюючого щупа сягають протилежної сторони деталі (дна) і, відбившись, збуджують сигнал у приймальному щупі. При наявності на шляху імпульсу дефекту приймальний щуп спочатку приймає ехосигнал від ділянки з дефектом, а потім – від протилежної сторони (донний сигнал). Ці сигнали відображаються у вигляді кривих (осцилограм) на екрані індикатора (електронно-променевої трубки) дефектоскопа. Відстань між початковим і донним сигналами становить у певному масштабі товщину деталі, що перевіряється (у



напрямку розповсюдження ультразвукової хвилі), а відстань між початковим і проміжним сигналами вказує на місце розташування дефекту. Якщо в деталі, що перевіряється, є кілька дефектів, то на осцилограмі будуть видно кілька проміжних сигналів. Усю деталь перевіряють переміщенням певної послідовності щупів на поверхні деталі, при цьому спостерігають за осцилограмою на екрані індикатора.

**Капілярний спосіб** контролю за інформаційною ознакою може бути колірний, яскравісний, люмінесцентний і люмінесцентно-колірний.

Колірний та яскравісний методи контролю ґрунтуються на реєстрації кольорового контрасту індикаторної рідини на тлі проявника. При кольоровому методі контролю проявника утворюється червоний індикаторний малюнок, що добре видно на білому тлі проявника. Технологічний процес колірного методу контролю включає такі операції: підготовку поверхні деталі; нанесення індикаторної рідини; нанесення проявника; огляд та розбракування; видалення проявника після контролю.

Люмінесцентний метод, що ґрунтується на реєстрації флюоресціювальної індикаторної рідини, що проникає в порожнини дефектів, при опроміненні ультрафіолетовими променями застосовують для контролю деталей кольорових сплавів.

Люмінесцентний дефектоскоп (рис. 2.5) складається з камер просочення, миття, сушіння, запилення проявним порошком і огляду деталей в ультрафіолетових променях.

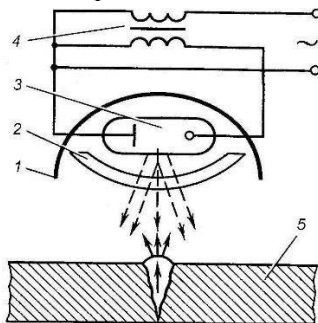


Рис. 2.5 – Схема люмінесцентного дефектоскопа: 1 – рефлектор; 2 – світлофільтр; 3 – ртутно-кварцова лампа; 4 – височольтний трансформатор; 5 – деталь

У першій камері деталі, що підлягають контролю, занурюють у ванну з флюоресціювальною рідиною складу, %: гас – 50, бензин – 25, світла трансформаторна олива – 25 [до неї додають барвник (зелено-золотистий дефектоль) у кількості 0,25 г/л]; або, %: гас – 75, бензол – 10, трансформаторна олива – 17. На 1 г такої суміші додають 0,2 г зелено-золотистого дефектолю і 2...3 г емульгатора ОП-7. Флюоресціювальна рідина має гарну змочуваність.

У другій камері флюоресціювальний розчин змивають з поверхні деталі сильним струменем підігрітої води. З цією метою можна також застосовувати спеціальну мильну суспензію, розпорошену стисненим повітрям під тиском 0,15...0,25 МПа.

У третій камері деталі просушують підігрітим стисненим повітрям. При цьому флюоресціювальна рідина розтікається на поверхні деталі по краях дефектів.

У четвертій камері деталі опилують порошком з великою поглинальною здатністю (оксид магнію або силікагелю), який сприяє сорбції флюоресціювальної рідини з дефектів. Потім деталь опромінюють ультрафіолетовими променями, пропущеними через спеціальний світлофільтр, після чого флюоресціювальний розчин починає світитися жовто-зеленим світлом. При цьому виявляється конфігурація дефектів.

Капілярні методи дозволяють виявити шліфувальні, втомні та термічні тріщини, волосовини, пористість та інші поверхневі дефекти та застосовуються для деталей будь-якої форми.

При дефектації деталі сортують на три групи (придатні, деталі, що потребують відновлення, та утильні) або на п'ять груп (придатні, придатні при спряженні з новими або з відновленими до нормальних розмірів деталями, деталі, що підлягають відновленню в майстерні або на спеціалізованому підприємстві, деталі, що підлягають відновленню тільки на спеціалізованому підприємстві та утильні).

Рівень технічного стану деталей (спряжень) визначають шляхом порівняння фактичних (вимірних або виявлених іншими методами) і нормативних значень параметрів стану, зазначених у технічних вимогах на defeкацію або капітальний ремонт конкретної марки машини.

У нормативних документах зазначені два види оцінюваних параметрів, тобто критеріїв технічного стану деталей: критерій допустимості подальшого використання деталі, який забезпечує

ресурс до наступного ремонту і критерій граничного стану, за яким деталь не може бути встановлена на машину. Таку деталь ремонтують (відновлюють) або вибраковуюють.

У своїй роботі контролери-дефектувальники керуються умовами на контроль-сортування деталей, що розробляються науково-дослідними інститутами.

Керуючись технічними умовами, дефектувальник повинен визначити залишковий ресурс працездатності деталей.

У технічних умовах вказуються допустимий і граничний зноси, що дають можливість встановити придатність деталі або можливість її відновлення.

На кожену деталь складається маршрутно-дефектувальна карта, в якій перерахуються всі можливі дефекти деталей, способи їх виявлення і відновлення, а також дається якісна оцінка технічного стану деталей.

Аналіз дефектів деталей, що надходять на відновлення, показує, що вони повторюються у певному співвідношенні та послідовності. Кількість дефектів на деталях може змінюватись в залежності від ступеня зношеності, але їх характер, місця розташування, їх поєднання закономірні та зумовлені терміном роботи та зношеності.

Кожне з поєднань дефектів вимагає розробки власного технологічного процесу – **маршруту відновлення**. Технологію, яка ґрунтується на принципах відновлення дефектів, згрупованих у маршрути, називають маршрутною.

Сортують деталі за маршрутами їх відновлення контролери-дефектувальники відповідно до маршрутно-дефектувальних карт.

## **2.4 Контроль якості відновлених деталей машин**

**Технічний контроль** (скорочено контроль) – перевірка відповідності об'єкта встановленим технічним вимогам.

Об'єктами технічного контролю при відновленні деталей є безпосередньо відновлені деталі (продукція підприємства) і технологічні процеси відновлення. Контроль якості продукції – контроль кількісних та (або) якісних характеристик властивостей продукції.

Залежно від місця організації контролю на тому чи іншому етапі ремонтного виробництва розрізняють **вхідний, операційний та приймальний контроль**.

*Вхідним* називається контроль продукції постачальника, що призначена для використання при відновленні деталей.

В умовах централізованого відновлювального виробництва це насамперед контроль матеріалів (прокат, зварювальний дріт, флюси, хімікати та ін.), інструменту, технологічної оснастки тощо. Цей вид контролю дозволяє уникнути зниження якості продукції через помилки постачальника. До вхідного контролю можна віднести дефектацію – контроль ремонтного фонду з метою перевірки відповідності деталей технічним вимогам на дефектацію та технічним умовам приймання деталей при відновленні.

*Операційним* називається контроль деталей або технологічного процесу під час виконання або після завершення технологічної операції, *приймальним* – контроль відновлених деталей, за результатами якого приймається рішення про придатність їх до використання.

За охопленням контрольованої продукції зазначені види контролю можуть бути **суцільними** або **вибірковими**.

Суцільним називається контроль кожної відновленої деталі партії (100% контроль), вибірковим – контроль, у якому рішення про якість відновлених деталей приймається за результатами перевірки однієї чи кількох проб із партії деталей.

Завдання контролю якості відновлених деталей полягає не у реєстрації певної кількості браку, а у встановленні причинно-наслідкових зв'язків між факторами, що визначили результат, та показником якості.

Одна з форм побудови схеми причинно-наслідкових зв'язків розроблена в Японії і зветься «схеми Ісікава». При побудові схеми результат, який називається характеристикою, зображується центральною стрілкою. Явища, що прямо чи опосередковано впливають на характеристику, називають факторами і зображують у вигляді стрілок, спрямованих вістрям до центральної лінії (стрілки).

На рис. 2.6 зображено схему причинно-наслідкових зв'язків для загального випадку відновлення деталі. Для виявлення факторів (причин) зазвичай користуються експертним методом. Після аналізу факторів складають перелік найважливіших заходів.

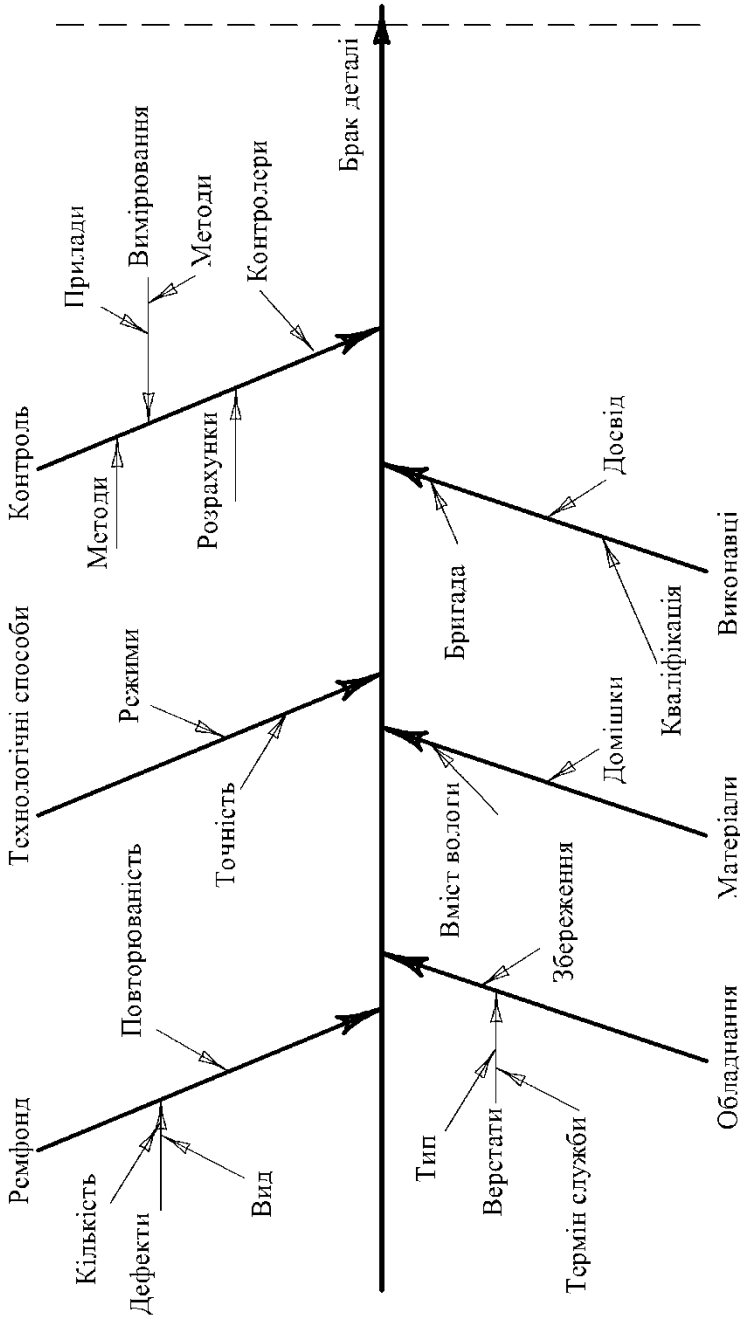


Рис. 2.6 – Причинно-наслідкові зв'язки під час аналізу виникнення браку

Виробничі (технологічні) дефекти можна класифікувати відповідно до рис. 2.7. З економічної точки зору важливо насамперед визначити наявність тих чи інших дефектів на проміжних етапах технологічного процесу відновлення: нанесення покриттів, термічної обробки тощо.

Кожен технологічний спосіб відновлення має свої особливості і відповідно дефекти деталей, що викликаються тільки ним.

Різноманітність об'єктів контролю в ремонтному виробництві обумовлює необхідність використання різних контрольних-вимірювальних засобів, починаючи від простих вимірювальних інструментів і закінчуючи складними приладами та пристроями.

Засоби вимірювання можна класифікувати за їхніми видами. Відомі засоби вимірювань (у дужках вказані контрольовані параметри):

- лінійних розмірів деталей (зовнішні та внутрішні діаметри, довжина, глибина, відстань між осями отворів, товщина зуба, крок нарізі, товщина шпонки, ширина паза та ін.);
- кутових розмірів деталей (кути між площинами, площиною та віссю, двома осями, що утворюють конуси та ін.);
- відхилів форми (від площинності, круглості, циліндричності та ін.);
- відхилів розташування (від паралельності, перпендикулярності, нахилу, співвісності, симетричності та ін.); хвилясті поверхні (висота і довжина хвилі); шорсткості поверхні (середнє арифметичне відхилення профілю, висота нерівностей профілю по десяти точках, найбільша висота нерівностей, середній крок нерівностей профілю та середній крок нерівностей профілю по вершинах, відносна опорна довжина нерівностей профілю);
- комплексні показники окремих деталей – взаємне розташування елементів деталей шліцьових з'єднань, середній діаметр нарізі, відхилення вимірюваної міжосьової відстані зубчастих коліс та ін.);
- твердості поверхонь (за Брінелем, Роквелом, Віккерсом та ін.); виявлення прихованих дефектів деталей (не видимі простим оком або приховані дефекти, що знаходяться під поверхнею, – тріщини, раковини, сторонні вклучення та ін.).

Засоби вимірювання мають також ряд типів: **міри, калібри, універсальні та спеціальні засоби.**

Міри відтворюють одиницю величини, її кратні чи дробові значення.

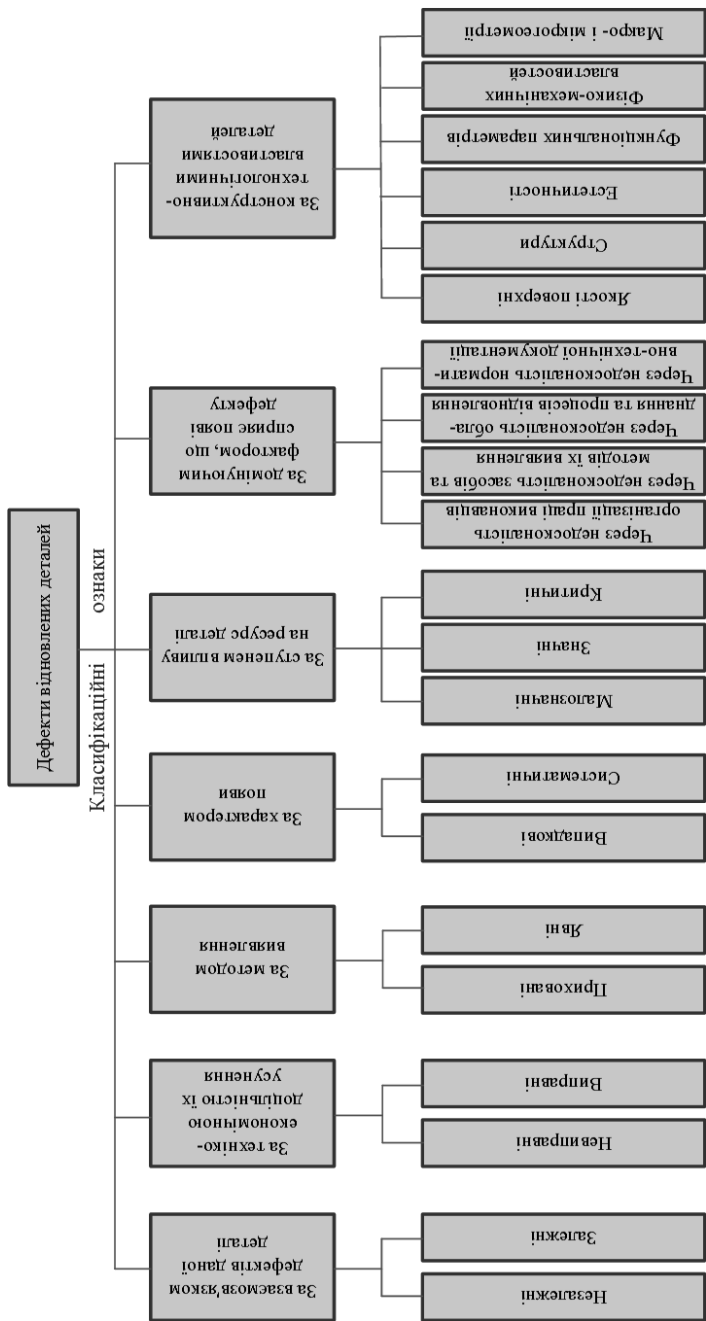


Рис. 2.7 – Класифікація дефектів відновлених деталей

Калібрами називають спеціальні вимірювальні інструменти без шкал, призначені для перевірки (а не для вимірювання) відхилів від заданих розмірів, форми виробу або взаємного розташування його поверхонь.

Універсальними вимірювальними засобами називають вимірювальні інструменти та прилади зі шкалами, за якими відраховуються значення величин, що перевіряються. До них відносяться: штрихові інструменти з відліками по ноніусу (штангенінструменти, універсальні кутоміри та ін.); мікрометричні інструменти, що ґрунтуються на принципі мікрометричних гвинтових пар (мікрометри гладкі та різьбові, штихмаси, мікрометричні глибиноміри та ін.); важільно-механічні прилади (мініметри, важільні скоби, індикатори годинникового типу, прилади для перевірки зубчастих коліс); важільно-оптичні прилади (оптиметри, ультраоптиметри); оптико-механічні прилади (мікроскопи, автокаліматори); пневматичні прилади (ротаметри та ін.); електричні прилади для лінійних та кутових вимірювань.

На рис. 2.8 зображено схему перевірки биття шийки деталі.

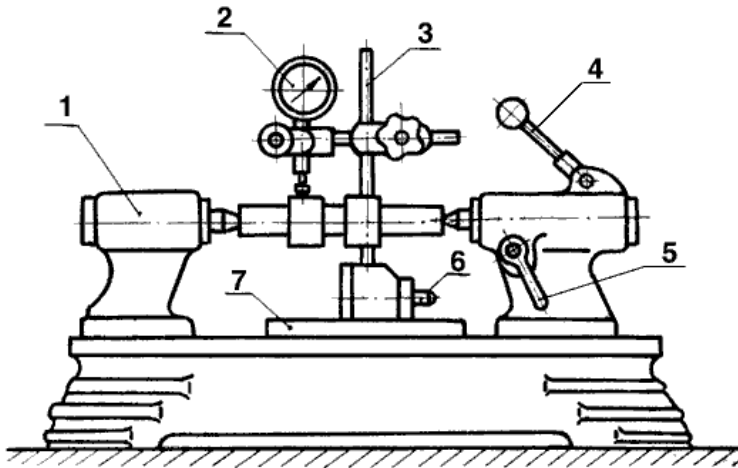


Рис. 2.8 – Схема перевірки радіального биття шийки вала: 1 – прилад; 2 – індикатор годинникового типу; 3 – штатив; 4 – рукоятка; 5 – затискач; 6 – кнопка керування магнітом; 7 – стіл



Деталь встановлюється своїми центровочними отворами в центри приладу 1, для чого рухомий центр попередньо відводиться рукояткою 4, а потім фіксується затискачем 5. Штатив 3 із закріпленим на ньому індикатором 2 ставиться на стіл 7 так, щоб вимірювальний стрижень упирався в точку поверхні, що перевіряється, яка лежить у площині, що проходить через вісь центрів (рис. 2.8). У знайденому положенні штатив фіксується своєю основою на столі за допомогою магніту, керованого кнопкою 6. Переміщенням індикатора щодо штатива створюється вимірювальний натяг.

Плавно обертаючи деталь, що перевіряється, на повний оберт, помічають найбільше  $M_1$  і найменше  $M_2$  показання індикатора. Числові величини показань записують у таблицю результатів вимірювань і за різницею  $E = M_1 - M_2$  визначають радіальне биття поверхні.

Шорсткість поверхні оцінюють такими методами:

- порівнянням шорсткості поверхні деталі із зразками шорсткості;
- контактнo-щуповим із застосуванням профілометрів та профілометро-профілографів;
- оптичним із застосуванням оптичних приладів.

Твердість у сучасному машинобудуванні та ремонтному виробництві вимірюють при статичному навантаженні різними приладами, які називаються твердомірами. В умовах ремонтного виробництва найбільш прийнятні методи Брінеля та Роквела, які характеризують статичну твердість металу та дозволяють виміряти її безпосередньо на готовому виробі без його руйнування. Метод Вікерса застосовують в основному для перевірки твердості невеликих деталей з поверхневим покриттям.

У дрібних деталей, а також тонких металевих стрічок, окремих складових структури сплавів і тонких поверхневих шарів гальванічних покриттів вимірюють мікротвердість, для визначення якої випускаються твердоміри типу ПМТ-3.

Технологічний процес відновлення найчастіше контролюється за показниками точності, стабільності та продуктивності. При цьому переважно застосовується статичний метод оцінки та регулювання. Статичне регулювання технологічного процесу – це коригування його параметрів під час виробництва з використанням вибіркового контролю продукції за допомогою контрольних карт.

По горизонтальній осі карти (рис. 2.9) відмічають номери чи моменти часу відбору вибірок деталей. По вертикальній осі відкладають статичні характеристики вибірок. На карту наносять також середню лінію та межі регулювання, які встановлюються зазвичай з таким розрахунком, щоб при стабільному технологічному процесі характеристики вибірок виходили за ці межі з малою ймовірністю.

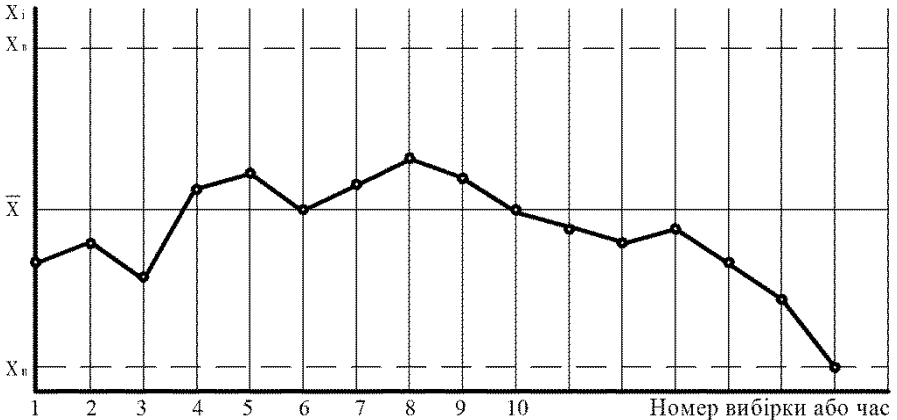


Рис. 2.9 – Контрольна карта для технологічного процесу відновлення:  
 $x_i$  – параметр якості;  $x_n$ ,  $x_v$  – нижні та верхні значення параметра

Процес вважається стабільним, поки статичні характеристики вибірок перебувають у межах регулювання. При виході за ці межі процес зупиняється, визначається та усувається причина, а іноді проводиться вибракування всіх деталей, відновлених після попередньої вибірки.

## Контрольні питання до розділу 2

1. Виробничий та технологічний процеси та їхні складові частини.
2. Способи очищення деталей.
3. Методи дефектоскопії деталей.
4. Класифікація дефектів відновлених деталей.
5. Критерії технічного стану деталей.
6. Розробка маршруту відновлення деталей.
7. Види контролю якості відновлених деталей.
8. Завдання контролю якості відновлених деталей.
9. Класифікація засобів вимірювання.
10. Основні принципи при виборі контрольних та вимірювальних інструментів.

## РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЧНІ МЕТОДИ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ ТА ЗМІЦНЕННІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

### 3.1 Зварювання

**Зварювання** – отримання нероз'ємних з'єднань за допомогою встановлення міжатомних зв'язків між частинами, що з'єднуються, при їх нагріванні і (або) пластичному деформуванні.

Зазвичай всі способи зварювання поділяються на дві групи (див. рис. 1.11): зварювання плавленням та зварювання тиском.

У першій групі об'єднання металу частин, що з'єднуються, в монолітне ціле без використання тиску можливе лише при рідкому стані металу, тобто метал у зоні зварювання має бути обов'язково розплавлений.

Використання тиску хоча б і за наявності розплавлення в зоні зварювання змушує віднести спосіб до групи зварювання тиском, як наприклад, при електричному контактному зварюванні.

При відновленні деталей найбільшого поширення набули дугове і газове зварювання.

**3.1.1 Дуговим** називається зварювання плавленням, при якому нагрівання здійснюється електричною дугою.

Електроди в процесі зварювання можуть бути такими, що плавляться, матеріал електродів у цьому випадку бере участь в утворенні наплавленого металу (рис. 3.1, а); що не плавляться – вугільні електроди (рис. 3.1, б), або плавляться повільно і не беруть помітної участі в утворенні наплавленого металу (вольфрамові електроди).

Температура у стовпі електричної дуги сягає 6000...7000 °С. Тому процес зварювання починається майже відразу, як збуджується дуга. Цим зумовлена висока швидкість плавлення електрода та основного металу і, отже, висока продуктивність зварювання.

Для живлення зварювальної дуги застосовують джерела постійного та змінного струму. При зварюванні постійним струмом використовують як пряму, так і зворотну полярність. При дуговому зварюванні постійним струмом баланс теплоти розподіляється так: на анод припадає близько 43%, на катод 36% і зварювальну дугу 21%.

Тому, якщо необхідно при зварюванні збільшити кількість розплавленого металу та глибину проплавлення, зварювання ведуть на прямій полярності, підключаючи деталь до анода. Сталеві деталі невеликої товщини, чавунні та алюмінієві, які потрібно менше нагрівати, варять при зворотній полярності, підключаючи деталь до катода.

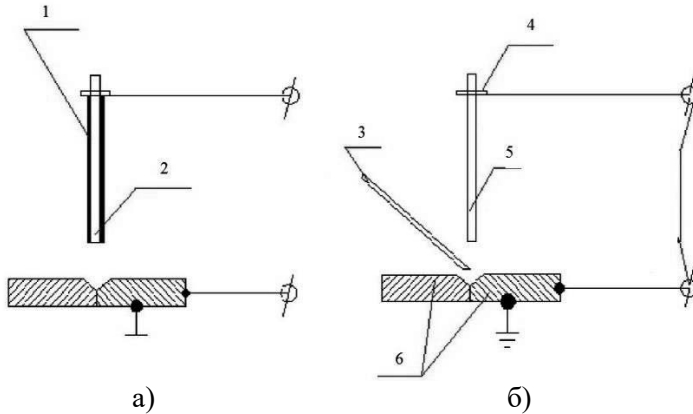


Рис. 3.1 – Схема дугового зварювання плавким (а) і неплавким (б) електродами: 1 – електродне покриття; 2 – плавкий електрод; 3 – присадний матеріал; 4 – електродотримач; 5 – неплавкий електрод; 6 – зварювальні частини виробу

При зварюванні змінним струмом на електродах виділяється приблизно однакова кількість теплоти.

Якість зварюваних деталей і шва, багато в чому залежить від технології і режимів зварювання, вибору присадних матеріалів, електродних покриттів, флюсів і подальшої термічної обробки наплавленого шару або всієї деталі.

Електрод для дугового зварювання являє собою металевий стрижень, вкритий спеціальною обмазкою, який виготовляється з зварювального дроту і одночасно служить присадним матеріалом. Обмазка або покриття електродів стабілізує дугу та покращує якість шва.

Покриття, що наносяться на електроди, діляться на тонкі (або стабілізуючі) та товсті (або якісні).

Тонкі покриття електродів служать лише для стабільного горіння дуги. Товщина шару такого покриття дорівнює приблизно 0,1...0,25 мм, яке маса становить 1-2% маси металевого стрижня.

Матеріалом для тонкого стабілізуючого покриття в більшості випадків служить крейда з додаванням до неї для зв'язку рідкого скла (25...30%). Крейдяне покриття значно дешевше за всі інші і в той же час забезпечує достатню стійкість горіння дуги. У ряді випадків застосовуються тонкі покриття складнішого складу.

Товсті (якісні) покриття на відміну від стабілізуючих не тільки підвищують стійкість горіння дуги, але й поліпшують якість зварного шва, оскільки розплавлений метал під час зварювання захищений від шкідливого впливу атмосфери шлаком і газами, що утворюють внаслідок випаровування складових покриття. Метал шва, крім того, легується, якщо в покриття входять легуючі компоненти. Таке покриття має товщину 1...2 мм і становить 20...40% маси металевого стрижня.

Товсті покриття складаються з великої кількості компонентів, які відповідно до їх призначення поділяються на такі групи: іонізуючі (крейда, мармур та ін); газоутворюючі (органічні сполуки); шлакоутворюючі (польовий шпат, пісок, граніт, плавиковий шпат); сполучні (рідке скло, декстрин та ін); розкислювальні та легуючі компоненти (феромарганець, феросиліцій та ін.)

Приклад позначення електрода:

Е-46-2УОНИ-13/45-3,0-УД2

Е-432-Б10

Чисельник такого запису позначає, що електрод має стрижень Е-46 з обмазкою УОНИ-13/45 діаметром 3 мм, для зварювання вуглецевої та низьколегованої сталі з  $\sigma_{\text{в}} = 430$  МПа, обмазка товста, група за вмістом фосфору та сірки друга. Знаменник: межа міцності зварного шва 430 МПа, ударна в'язкість 0,2 МДж/см<sup>2</sup>, хімічний склад покриття має основний характер, зварювання можна здійснити у будь-якому положенні постійними струмами зворотної полярності.

Якість зварювання сталевих деталей великою мірою залежить від вмісту в них вуглецю та легуючих елементів. Маловуглецеві та низьколеговані сталі із вмістом вуглецю до 0,2% і легуючих елементів до 5% зварюють без труднощів звичайним способом. Зварювання сталей, що містять вуглець більше 0,35% і легуючих елементів більше 8%, призводить до збільшення гартувальних властивостей сталі,

виникнення тріщин і залишкових напружень. При зварюванні таких сталей не допускаються пори, непровари, шлакові включення.

Середньовуглецеві та низьколеговані сталі зварюють і наплавляють переважно електродами типу Е-42 та Е-46. Найкращі результати при зварюванні конструкційних сталей дають електроди типу Е-42А.

Режими зварювання середньовуглецевих і низьколегованих сталей наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Режими зварювання середньовуглецевих і низьколегованих сталей

<b>Товщина зварювального металу</b>	<b>Діаметр електроду, мм</b>	<b>Сила зварювального струму, А</b>
2...4	3...4	75...125
4...6	4...5	150...200
6...10	5...6	200...400

Як обладнання для ручного зварювання в умовах ремонтних підприємств застосовують: зварювальні трансформатори типів СТН, ТСК, ТД, ТС, СТШ, ТС-300, ТС-500, ТСМ-500 з конденсаторами ТСК-300, ТСК-500 з рухомим шунтом СТШ-300, СТШ-500; зварювальні перетворювачі ПСО-300-3, ПС-500, ПСО-500, ПСУ-300, ПСУ-500; зварювальні селенові випрямлячі ВСС-120А, ВОС-300-3, універсальні ВСУ-300, ВСУ-500, спеціальні ВКСМ-1000-1, ВДМ-1601, ВДМ-3001. Для зварювання в польових умовах застосовують пересувні зварювальні агрегати з двигуном внутрішнього згорання АСВ-300-4, АСВ-300-7.

Зварювальний дріт виготовляється діаметром 0,3...12 мм з низьковуглецевої, легованої та високолегованої сталі. Позначення: Св – зварювальний; перші дві цифри – вміст вуглецю в сотих частках відсотка; далі вказується маркування складу металу: марганець – Г, кремній – С, хром – Х, нікель – Н, титан – Т тощо. Літера А в кінці маркування вказує на підвищену якість металу зі зниженим вмістом сірки і фосфору. Електроди для зварювання мало- і середньовуглецевих сталей виготовляються з дроту Св-08, Св-08А, Св-08ГА, Св-10Г2, Св-10ГА, низьколегованих спеціальних – Св-

06Х14, Св-10Х13, Св-10Х19Н19 та інших марок дроту, що містить легуючі елементи.

При відновленні зварюванням чавунних деталей слід враховувати особливості цього матеріалу, що ускладнюють його зварювання.

1. Вибілювання чавуну внаслідок високої швидкості охолодження металу шва і пришовної зони (висока твердість вибілених ділянок, тобто ділянок з виділеннями цементиту, практично позбавляє можливості обробляти чавуни різальним інструментом).

2. Можливість утворення тріщин у шві та пришовній зоні у зв'язку з незначною пластичністю чавуну, що піддається нерівномірному місцевому нагріванню при зварюванні.

3. Інтенсивне газовиділення із зварювальної ванни при окисленні вуглецю, що призводить до утворення пор у металі шва.

4. Підвищену рідкоплинність чавуну, що утруднює утримання розплавленого металу від витікання та формування шва.

5. Утворення тугоплавких оксидів кремнію та інших елементів, внаслідок чого можлива поява несправів.

В даний час розроблено технологію відновлення чавунних виробів зварюванням, що забезпечує досить високу якість зварного з'єднання. При цьому застосовується два основні способи зварювання: гарячий та холодний.

Гарячий спосіб передбачає попереднє нагрівання чавунних деталей в нагрівальних печах до температури 600...650°C, а заварювання тріщин, пробоїн, сколів тощо – у спеціальних термосах або газовим зварюванням чавунними прутками того ж хімічного складу, що і деталі, що підлягають відновленню.

Зварювання деталей з нагріванням до температури 600...650 °С та подальшим повільним охолодженням не викликає вибілювання чавуну та утворення загартованих ділянок. Тріщини при цьому не з'являються.

Висока трудомісткість та важкі умови праці зварника, що вимагають відповідних практичних навичок, обмежують застосування цього способу.

Більш прогресивним є холодне зварювання чавуну спеціальними електродами.

Для механізованого зварювання особливо відповідальних корпусних деталей з чавуну успішно застосовується самозахисний



дріт ПАНЧ-11, до складу якого входять, %: марганець – 5...6, мідь – 2,3...3,0; залізо – до 2; рідкісноземельні елементи – 0,2...0,3; решта – нікель. За його допомогою усувають такі дефекти, як тріщини, пробоїни, відколи корпусних деталей із сірого чавуну, ремонтують отвори під штифти та болти кріплення з зірваною нарізкою, в окремих випадках відновлюють деталі з високоміцного чавуну, коли не потрібно високої міцності.

Варіанти форм обробки тріщини показані на рис. 3.2.

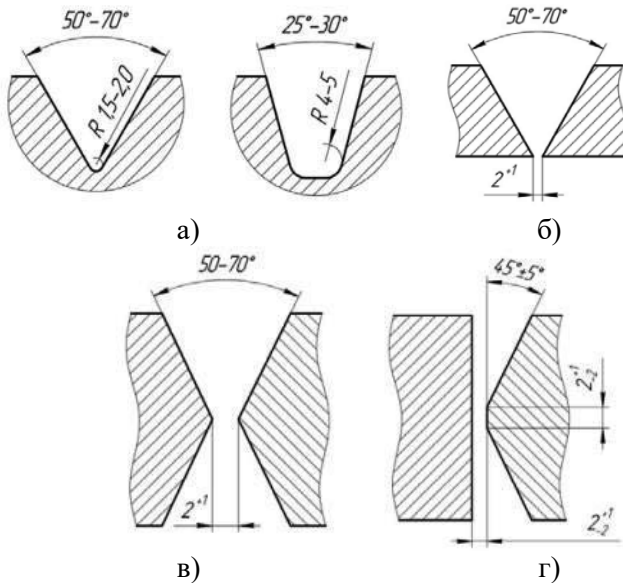


Рис. 3.2 – Форми обробки тріщин: а – ненаскрізна тріщина; б – наскрізна тріщина; в – Х-подібна обробка, наскрізна тріщина; г – К-подібна обробка, наскрізна тріщина

При виборі форми та розмірів обробки тріщин слід враховувати, що рекомендована глибина проплавлення основного металу дротом ПАНЧ-11 – до 2 мм. Обробка тріщини може бути одно- та двосторонньою в залежності від товщини стінок ділянки, що зварюється, а також зручності виконання обробки і зварювання. Ненаскрізну тріщину слід обробити до «здорового» металу.

Зварювання здійснюють ділянками довжиною 30...60 мм з легким проковуванням металу шва в процесі його охолодження до температури 50...70°C. Порядок накладання швів показано на рис. 3.3.

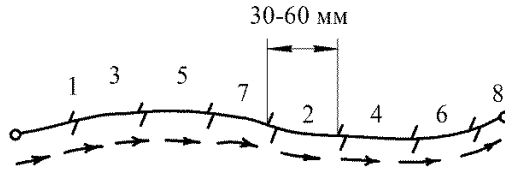


Рис. 3.3 – Послідовність і напрямок заварювання тріщини

Зварювання виконують постійним струмом зворотної полярності при таких режимах.

Напруга дуги, В .....	14... 19
Зварювальний струм, А .....	100... 150
Швидкість подачі дроту, м/год.....	100...150
Швидкість зварювання, м/год.....	2,5...5,0
Витрата дроту на 1 м кроку, кг .....	0,2...0,3
Коефіцієнт наплавлення, г/А .....	7,5...8,2

Зварні з'єднання високої якості при холодному зварюванні чавуну отримують за рахунок застосування спеціальних електродів МНЧ-2, виготовлених з монольметалу (70% нікелю і 26% міді, решта – залізо та марганець). Таке зварне з'єднання не має пор і раковин, пластичне, відсутня зона вибілу. Тому електродами МНЧ-2 можна усувати майже всі дефекти: тріщини, зношування поверхонь отворів, зколи. Однак, твердість шва в цьому випадку нижча за твердість металу.

При зварюванні чавуну застосовуються також міднозалізні електроди ОЗЧ-2, виготовлені з мідного стрижня з фтористо-калійним покриттям, в яке додають 50% залізного порошку. Вони дешевші за електроди МНЧ-2, але в процесі зварювання спостерігається більш виражений вибіл у пришовній зоні. Для отримання наплавленого шару з необхідною якістю та економії дорогого матеріалу використовують комбіноване зварювання електродами різних марок.

Зварювання деталей із алюмінієвих сплавів пов'язане з певними труднощами, зумовленими властивостями металу.

Деталі з алюмінієвих сплавів вкриті тугоплавкою оксидною плівкою, що утворюється під час взаємодії алюмінію з киснем повітря. Маючи високу температуру плавлення (2050°C), оксидна плівка не розплавляється в процесі зварювання і вкриває метал міцною оболонкою, що утруднює утворення спільної ванни. Для руйнування та видалення плівки та захисту металу від повторного окислення при

зварюванні використовують флюси та покриття електродів на основі фтористих та хлористих солей лужних та лужноземельних металів. У ряді випадків оксидні плівки видаляють механічним способом (шабруванням).

Найбільш прогресивний метод зварювання деталей з алюмінієвих сплавів – аргонодугове зварювання неплавким вольфрамовим електродом (рис. 3.4).

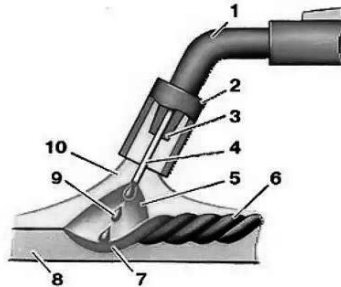


Рис. 3.4 – Зварювання деталі у середовищі аргону: 1 – пальник; 2 – сопло; 3 – струмопідвідний наконечник; 4 – електродний дріт; 5 – зварювальна дуга; 6 – зварний шов; 7 – зварювальна ванна; 8 – основний шов; 9 – краплі електродного металу; 10 – газовий захист

Для відновлення деталей із алюмінієвих сплавів ручним аргонодуговим зварюванням використовують стаціонарні установки змінного струму «Удар-300», «Удар-500», УДГ-301 та УДГ-501.

Установки типу «Удар» комплектуються зварювальними пальниками типу «Град». Широке поширення мають пальники з повітряним охолодженням АР-3, АР-10-1, ЭЗР-58, ЭЗР-3-66, ЭЗР-4, ЭЗР-5, МГ-3 та ін.; з водяним охолодженням АР-7Б, АР-9, АР-10 «Град-200», «Град-400», ЭЗР-4-61, МГВ-1, ГНР-315, РТА-400 та ін.

Для зварювання в середовищі захисних газів неплавким електродом служать вольфрамові електроди марок ЭВЧ, ЭВЛ, ЭВИ діаметром 1...10 мм.

Зварювання на змінному струмі виконують електродом, заточеним у вигляді сфери, на постійному струмі – у вигляді конуса.

Для утворення захисного середовища використовують газоподібний аргон вищого гатунку марки А. Аргон поставляється в балонах сірого кольору з написом та смугою зеленого кольору.

Як присадний матеріал при зварюванні рекомендується застосовувати дріт, враховуючи склад основного металу. Рекомендовані марки дроту для аргонодугового зварювання наведено в табл. 3.2.

Перед зварюванням неплавким електродом необхідно вибрати правильний режим усунення даного виду зносу в залежності від товщини стінки виробу. Режими аргонодугового наплавлення неплавким електродом наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.2 – Марки дроту для аргонодугового зварювання

Марка зварювального металу	Марка дроту, що забезпечує задовільні характеристики металу, що наплавляється
A-99, A-97, A-96	A-99A
A-85, A-8, АДОО	Св-85Т
АДО, АДІ	Св-А5
АМц	Св-АМц
АМг3	Св-АМг3
АМг6	Св-АМг6
МАг6, АЛ-8, АЛ-27, АЛ-29	Св-АМг6
АМг6І	Св-АМг6І
АВ, АД31, АД33	Св-АК5
1915, АЛ-24, АЛ-25, АЛ-26	Св-1557
1201, АЛ-19	Св-1201
АМК0	Пл-ЖА2
АЛ-2, АЛ-4, АЛ-30	Св-АК10
АЛ-9, АЛ-108, АК-4	Св-АК5

Таблиця 3.3 – Режими аргонодугового наплавлення неплавким електродом

Параметр	Товщина стінки в зоні зносу, мм				
	2-4	5-6	7-8	9-10	11-15
Діаметр вольфрамового електроду і присадного дроту, мм	3-4	4-5	5-6	5-6	6-7
Сила струму, А	150-190	170-230	200-260	240-300	300-400

3.1.2 **Газовим** називається зварювання плавленням, при якому для нагрівання використовується теплота полум'я суміші газів, що спалюється за допомогою пальника. Залежно від газу, що застосовується, температура плавлення коливається від 2100 до 3200°C.

У ремонтному виробництві широко використовується газове зварювання ацетиленокисневим полум'ям. У процесі зварювання розплавляються кромки деталей і, одночасно з цим, кінець дроту, що вводиться в полум'я пальника. При цьому газове полум'я утворює навколо ванни розплавленого металу газову зону, що захищає ванну від впливу навколишнього кисню та азоту повітря. Газове зварювання відрізняється від дугового простотою і дешевизною обладнання, що застосовується, і не вимагає спеціальних джерел енергії. У процесі зварювання можна регулювати кількість теплоти, що вводиться у виріб, що забезпечує незначне вигорання різних елементів і дозволяє зварювати метали невеликої товщини, а також чавунні деталі, кольорові метали та їх сплави.

Недолік зварювання – низька продуктивність процесу, велика зона теплового впливу на основний метал, що призводить до значного жолоблення деталей, що зварюються.

У полум'ї при горінні ацетилену з киснем розрізняють три зони: ядро, відновну зону та факел (рис. 3.5). Ядро має різко окреслену, дещо бочкоподібну форму із закругленим кінцем. Оболонка ядра яскраво світиться, оскільки складається із розплавлених частинок вуглецю. Ядро має синюватий колір і температуру 900°C. Розміри його знаходяться у прямій залежності від витрати горючої суміші та швидкості її витікання.

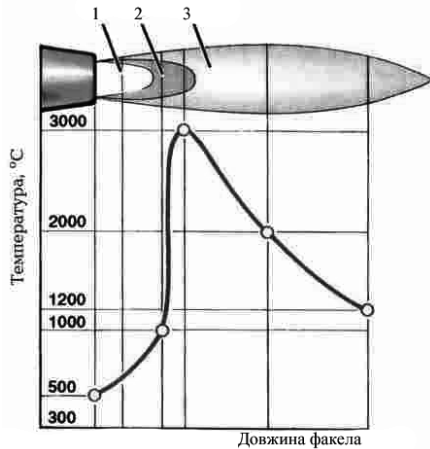


Рис. 3.5 – Схема будови ацетилено-кисневого полум'я і розподілу температур за зонами: 1 – ядро полум'я; 2 – середня відновлювальна зона; 3 – факел полум'я

Діаметр каналу мундштука визначає діаметр ядра полум'я, а швидкість витікання газової суміші – довжину полум'я.

Відновна зона темного кольору відрізняється від ядра та решти полум'я. Вона складається із продуктів неповного згоряння ацетилену: оксиду вуглецю та водню. Вони розкислюють розплавлений метал, тобто, забирають кисень оксидів металу. Цей процес називається відновним, тому цю зону полум'я називають відновною. Якщо в процесі зварювання розплавлений метал зварювальної ванни знаходиться у відновній зоні, метал шва виходить без пір, газових та оксидних включень та інших дефектів. Відновна зона має найвищу температуру (близько 3200°C) у точці, що віддалена на 3...6 мм від кінця ядра (див. рис. 3.5).

Факел (оксидна зона) розташований за відновною зоною. Він складається з вуглекислого газу (двооксид вуглецю), парів води та азоту, які з'являються в полум'ї при згорянні оксиду вуглецю і водню відновної зони за рахунок кисню навколишнього повітря. Температура факела значно нижча, ніж температура відновної зони і коливається в межах 1200...2500°C.

Залежно від співвідношення компонентів суміші ацетиленокисневе полум'я може бути нормальним, науглецьовувальним і окислювальним. Теоретично нормальне полум'я виходить при співвідношенні об'єму ацетилену та об'єму кисню 1:1. Практично внаслідок деякої забрудненості кисню нормальне полум'я утворюється при дещо більшому вмісті кисню  $\beta=1,1...1,3$ .

Нормальним (нейтральним) полум'ям зварюють деталі з алюмінієвих сплавів, міді, бронзи, сталі із вмістом вуглецю менше 0,5%.

При зменшенні подачі кисню або збільшенні подачі ацетилену отримують науглецьовувальне полум'я. Воно утворюється при подачі в пальник 0,95 і менше обсягу кисню на один об'єм ацетилену.

Науглецьовувальне полум'я застосовують при зварюванні чавуну, високовуглецевих сталей (що містять більше 0,55% C), для наплавлення деталей твердими сплавами.

При збільшенні подачі кисню або зменшення подачі ацетилену в пальник отримують окислювальне полум'я, при цьому  $\beta>1,3$ . Окислювальне полум'я має блідий колір, укорочене загострене ядро з менш різкими обрисами. Температура окислювального полум'я вище температури нормального, проте таке полум'я може сильно окислити зварюваний метал, що призводить до отримання крупнозернистого

шва. Окислювальним полум'ям ріжуть метали, а також нагрівають деталі при загартуванні.

Для захисту розплавленого металу від окислення і для видалення утворених оксидів застосовують зварювальні порошки або пасти (флюси). Флюси, попередньо нанесені на присадний дріт і кромки металу, що зварюється, при нагріванні розплавляються і утворюють легкоплавкі шлаки, які спливають на поверхню рідкого металу. Шлакова оболонка захищає зварювальну ванну від окислення. Розплавлений флюс здатний також видалити з рідкого металу шва оксиди, що утворилися, розчиняючи їх і утворюючи з ними хімічні сполуки.

Склади флюсів вибирають в залежності від виду і властивостей металу, що зварюється. Основними компонентами флюсів для чорних металів служать бура ( $Na_2B_4O_7$ ), двовуглекисла сода (харчова) ( $Na_2HCO_3$ ) і борна кислота ( $H_3BO_3$ ). Флюси-пасти для газового зварювання чавуну наведені у табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Флюси-пасти для газового зварювання чавуну

Компонент	ФСЧ-1	ФСЧ-2
Бура плавлена	23	18,0
Сода кальцинована	27	25,0
Селітра натуральна зневоднена	50	56,5
Літій вуглекислий зневоднений	-	0,5
Вода, % до маси сухої частини	1	1,0

Для зварювання алюмінію та його сплавів застосовують флюси, склади яких наведені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Склад флюсу для зварювання

Компонент	Марка флюсу та її склад, %		
	АФ-4А	ВАМИ	34А
Хлористий калій	55	50	29
Хлористий натрій	28	30	19
Хлористий літій	14	-	-
Хлористий барій	-	-	48
Фтористий натрій	3	-	-
Плавииковий шпат	-	-	4

Хлористі солі калію, натрію, літію, барію, що входять до складу флюсу, поглинають кисень оксиду алюмінію, утворюючи хлористий алюміній. Фтористі сполуки розчиняють у розплавленому стані оксид алюмінію.

Потужність пальника, необхідну для зварювання, або номер наконечника в залежності від товщини металу, що зварюється, вибирають за годинною витратою ацетилену:

$$A=KS, \tag{3.1}$$

де  $K$  – емпіричний коефіцієнт;  $S$  – товщина металу, мм.

Для чавуну, алюмінію та низьковуглецевої сталі  $K \approx 100$ , для червоної міді  $K \approx 140$ , для легованих сталей  $K \approx 75$ .

Існують лівий та правий способи зварювання та наплавлення (рис. 3.6). При лівому способі зварник тримає пруток в лівій руці, а пальник у правій і пересуває їх справа наліво. В цьому випадку полум'я спрямоване від шва, зварник добре бачить шов і може забезпечити рівномірну ширину та висоту валика, тобто гарний зовнішній вигляд шва. Даний спосіб застосовується при зварюванні вуглецевих сталей товщиною до 4...5 мм, чавуну, алюмінію та його сплавів, наплавлення твердими сплавами, паяння твердими припоями.



Рис. 3.6 – Способи газового зварювання: а – лівий; б – правий

При правому способі зварювання пальник переміщається зліва направо, а присадний дріт рухається слідом за пальником. Якість зварного з'єднання при використанні цього способу вище, оскільки факел полум'я краще захищає розплавлений метал від дії повітря та швидкого остигання, і гази встигають виділятися з рідкої ванни. При цьому способі зменшуються зони термічного впливу та деформація виробу, шов виходить щільним і пластичним. Однак, зовнішній вигляд шва гірший, оскільки зварювальник погано бачить його формування. Цей спосіб ефективний при товщині металу понад 5 мм.



Розвиток нових методів зварювання, різання та паяння не знизили значущості застосування газополум'яних способів відновлення деталей. Відносно новим джерелом газового полум'я є воднево-кисневе полум'я, яке одержують при спалюванні продуктів електролізу води, що проводиться безпосередньо при газополум'яній обробці. Оскільки об'єм газової суміші, що утворюється при електролізі води, в 2000 разів перевищує об'єм води, що розкладається, то виникає можливість отримати газове полум'я, не маючи великих запасів вибухонебезпечних газів. Електролізно-водні генератори виробляють до декількох сотень літрів газової суміші на годину. Сучасні установки – це, переважно, устаткування стаціонарного типу, значної продуктивності. Воно дозволяє здійснювати паяння, зварювання та різання дротів, фольги, пластмас, кераміки, скла, випалювання отворів у кварці та тугоплавких металах.

Промислові електролізери, які застосовуються для роздільного одержання водню та кисню під тиском від 100 до 1000 кПа з продуктивністю більше 10 м<sup>3</sup>/год, зазвичай виконуються стаціонарно, мають фільтр переносного типу з біполярним включенням електродів. Складність конструкції наявних електролізерів і необхідність газополум'яної технології суміші цих газів визначили розробку більш простих і легких генераторів гримучого газу, що забезпечують живлення одного зварювального посту.

Газове полум'я не відноситься до джерел висококонцентрованого нагрівання деталей. Його температура не перевищує 3500 °С, тому неможливо забезпечити значний тепловий потік від полум'я до деталі, що нагрівається, і, відповідно, створює малу зону термічного впливу. Але, водночас, газополуменева обробка металів використовується широко як у виробництві, так і під час ремонту техніки. Це пояснюється широкими технологічними можливостями методу, простотою і доступністю устаткування, низькими вимогами до кваліфікації робітників. Найбільшого поширення набула обробка металів ацетиленокисневим полум'ям. Однак, дефіцитність ацетилену, що отримується гідрогенізацією карбиду кальцію, і високі витрати на транспортування балонів з киснем до місця проведення зварювальних робіт стримують використання цього способу. Крім того, під час підготовки до роботи ацетиленокисневого газозварювального обладнання витрачається значний час. Близькі технологічні можливості має воднево-кисневе

полум'я, одержуване при спалюванні газової суміші, що генерується електролізно-водними генераторами. Така заміна дозволить виключити необхідність у дорогому балонному господарстві, карбіді кальцію та ацетиленових генераторах, що забезпечує економію матеріальних та трудових ресурсів, покращить умови праці та знизить забруднення навколишнього середовища.

Розробки генераторів для одержання воднево-кисневої суміші проводилися за двома напрямками. Згідно з першим напрямом, установки з продуктивністю 50-300 л/с воднево-кисневої суміші використовуються в основному для паяння невеликих виробів і проводів, в ювелірному виробництві, медицині, при обробці скла та ін. Вони можуть бути також використані для зварювання кольорових металів та сталей малої товщини. Такі установки мають малі габарити та масу до 50 кг, працюють з малогабаритними пальниками та соплами діаметром до 1 мм. Відносно невелика споживана потужність (до 1,5 кВт) дозволяє використовувати для регулювання продуктивності автотрансформатори або поєднання трансформатора з тиристорним регулятором. Для розширення технологічних можливостей газову суміш вводять добавки парів спирту, бензину при виконанні різних технологічних процесів.

Принцип дії електролізера ґрунтується на реакції розкладання води на кисень і водень під дією постійного струму, що проходить через лужний електроліт.

Електролізер (рис. 3.7) складається з ряду послідовно включених герметичних порожнин, утворених електродами 1, кільцями-ущільнювачами 2 і платами 3. Герметизація набраного таким чином пакета здійснюється стяжними шпильками 4. Електролізер через заливний отвір заповнюється електролітом. В кожній пластині є отвір, що служить для рівномірного заповнення порожнин електролітом (за законом сполучених судин).

До крайніх пластин електролізера підводиться постійний струм від блока живлення. Воднево-киснева суміш при електролізі через отвори у верхній частині електродних пластин прямує в газовідділювач, потім осушується і через затвор і збагачувач прямує до зварювального пальника. Затвор необхідний для запобігання займанню газу всередині генератора. Збагачувач дозволяє коригувати характер зварювального полум'я шляхом незначних добавок до гримучого газу парів бензину.

Пластини електролізера, що виступають за межі кільця ущільнювача виконують роль радіатора і служать для відведення тепла від електролізера.

Зважаючи на те, що пластини електролізера знаходяться під високою напругою, бічна поверхня електролізера закрита щитами з перфорованого заліза 7.

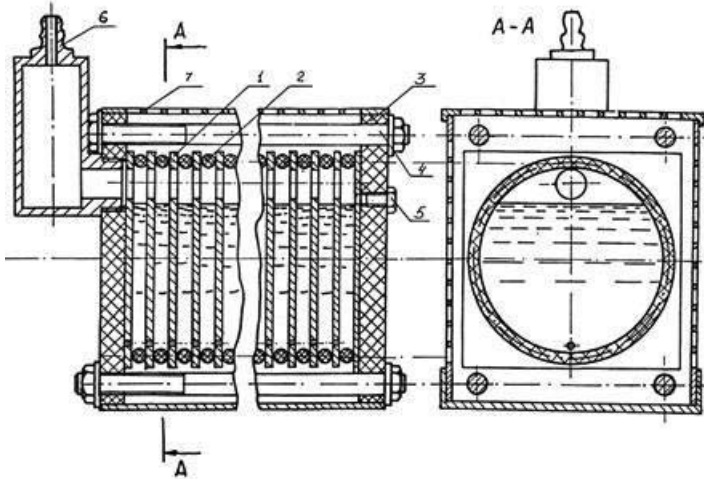


Рис. 3.7 – Схема електролізера: 1 – електрод; 2 – кільце ущільнювача; 3 – плата; 4 – стяжні шпильки; 5 – контрольна пробка; 6 – збагачувач; 7 – перфороване залізо

Електролітом служить розчин їдкого натру або їдкого калію. Систематично проводяться роботи з удосконалення конструкції установок та відпрацювання технології воднево-кисневого зварювання.

Однією з істотних переваг описаної вище установки є зведення до мінімуму часу на підготовку до проведення зварювальних робіт. Для того, щоб привести зварювальну установку в робочий стан, необхідно включити тільки живлення та запалити паливник.

Суміш водню з киснем вибухонебезпечна, проте сам апарат при ретельному виготовленні та акуратній роботі з ним ніякої небезпеки не становить. Це пояснюється тим, що у ньому немає значних об'ємів, у яких накопичується газ. Для запобігання вибуху від зворотного спалаху передбачений водяний затвор звичайної конструкції, крім того встановлюються сухі клапани та

полум'ягасники різних конструкцій (наприклад, ЕВВ 166Н, ЛКО 156 та ін.).

Основними елементами установки є: газогенератор (електролізер), збагачувач, стандартний ацетилено-кисневий газовий пальник, з якого вилучено інжектор, газові шланги та блок живлення.

Розроблена конструкція установок відрізняється від відомих тим, що пристрій забезпечений осушувачем, виконаним у вигляді камери, змонтованої на напірній ємності з'єднаної з нею отвором дроселюючим (клапаном) і зворотним клапаном для скидання конденсату. Пристрій також відрізняється тим, що вихід газу і подача електроліту здійснюється у вигляді єдиного каналу або – газовідвідного патрубку, розташованого у верхній частині пристрою і патрубку, що підживлює, в його нижній частині. При цьому газовідвідний патрубок виконаний у вигляді циліндричної труби або багатогранного перерізу. Основним завданням удосконалення конструкції установки та принципу її роботи було виконання низки конструктивних рішень для отримання гримучого газу, при якому забезпечувалося б зниження в ньому вмісту вологи шляхом поетапного відділення вологи з газової суміші. Тому, розроблений пристрій для отримання гримучого газу має осушувач.

Зниження вологовмісту газової суміші забезпечується створенням перепаду тисків в електролізері і охолоджувачі за рахунок отвору в дроселі або клапана. Це сприяє зменшенню кількості вологи, що виноситься з електроліту з газами та піною. Відділення вологи відбувається при проходженні газів через шар електроліту напірної ємності. Конструкція розробленої установки дозволяє регулювати рівень електроліту у міжелектродному просторі.

Регулювання рівня електроліту в міжелектродному просторі досягається за рахунок його дозованого протікання в напірну ємність і залежить від форми прохідного перерізу газовідвідного каналу.

На рис. 3.8 наведено схему формування пінної камери, а на рис. 3.9 форма робочого перерізу газовідвідного патрубку.

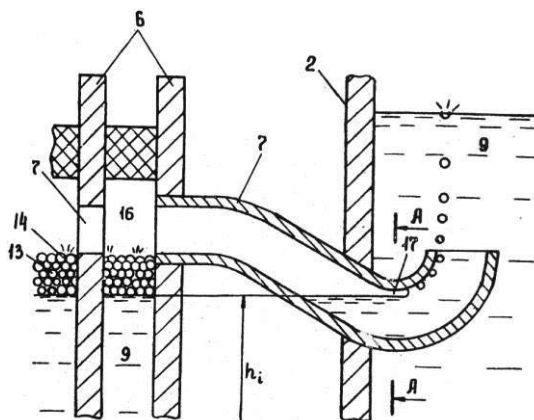


Рис. 3.8 – Схема формування пінної камери

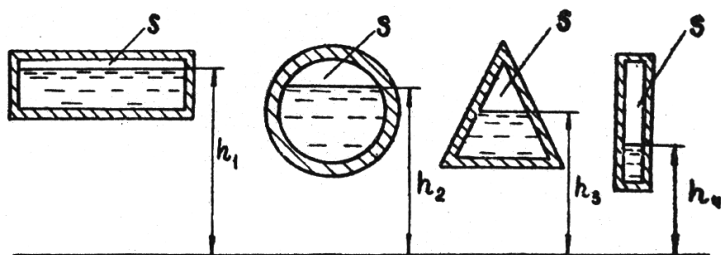


Рис. 3.9 – Форма робочого перерізу газовідвідного патрубка

Напірна ємність (рис. 3.10) заповнена електролітом 9 до рівня, що забезпечує гасіння зворотного удару і компенсацію витрати води в процесі роботи, причому не менше ніж на 100 мм вище за рівень електроліту в електролізері. Робочий переріз А-А (див. рис. 3.8) газовідвідного патрубка 7 заповнено електролітом і виконано з можливістю забезпечення утворення в електролізері пінної камери 13, верхній рівень 14 якої збігається з нижньою кромкою отворів 5 в електродах 6. Для заливання електроліту 2 зверху є заливна горловина 15.

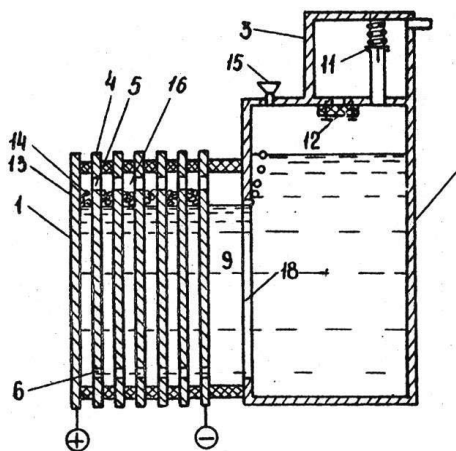


Рис. 3.10 –  
Електролізер та  
напірна ємність

Початковий рівень електроліту в електролізері залежить від повітряного дзвону 16, що утворюється над дзеркалом електроліту в електролізері при заливці. Висота повітряного дзвона визначається рівнем розташування верхньої кромки робочого перерізу А газовідвідного патрубка.

При з'єднанні електролізера 1 з напірною ємністю 2 (див. рис. 3.10) газовідвідний та підживлювальний патрубків можуть бути функціонально об'єднані в один канал 18. При цьому форма перерізу газовідвідного патрубків може відповідати одному з наведених на рис. 3.9. При цьому отвори для подачі електроліту 6 повинні розташовуватися вище нижньої кромки 18 каналу і в тій його частині, яка постійно заповнена електролітом.

**3.1.3 Електронно-променевим** називається зварювання плавленням, при якому для нагрівання використовується енергія, прискорених електронів.

Потік електронів, що виникає в результаті термоемісії з розжареного катода «електронної гармати», розганяється напругою 20...200 кВ до швидкостей порядку 0,05-0,7 від швидкості світла. Цей потік електромагнітною системою може фокусуватися, відхилятися і подаватися до місця, що зварюється, де гальмується протягом  $10^{-9}$ ... $10^{-11}$ с. При цьому температура матеріалу піднімається до 10000-15000 °С.

Особливістю електронного пучка є те, що прогрів металу йде не з поверхні, а з товщі приповерхневого шару, тобто, безпосередньо в об'ємі матеріалу, який обробляється. Це пояснюється тим, що гальмування електрона відбувається в результаті взаємодії з частками матеріалу на довжині гальмівного шляху.

Зона нагрівання електронним променем залежно від ступеня фокусування може змінюватись у значних межах. У сучасних зварювальних установках діаметр плями нагріву може змінюватись від 0,05 до 5 мм, щільність енергії в ній  $10^4 \dots 10^6$  Вт/см<sup>2</sup>. Електронний промінь дозволяє виконати зварювання матеріалів з максимальною глибиною проплавлення та мінімальною зоною термічного впливу.

У робочій камері зварювання (рис. 3.11) підтримується порівняно невисокий вакуум ( $10 \dots 12$  Па). Робоча камера сполучається з камерою електронної гармати через вузький отвір, необхідний для проходження електронного променя. Незначний діаметр отвору ( $\sim 0,5$  мм) дозволяє підтримувати високий вакуум ( $10^{-2} \dots 10^{-3}$  Па) в камері електронної гармати.

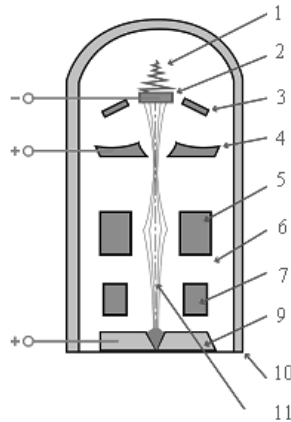


Рис. 3.11 – Схема електронно-променевого зварювання:

- 1 – електрична спіраль; 2 – катод; 3 – прикатодний електрод;
- 4 – прискорюючий електрод (анод); 5 – фокусувальна система; 6 – вакуум;
- 7 – відхиляюча система; 8 – зварювальний виріб; 9 – вакуумна камера;
- 10 – електронний промінь

Для створення прискореного пучка електронів до катода та анода прикладається висока напруга. У сучасних установках для електронно-променевого зварювання застосовують джерела живлення

напругою 10...100 кВ. Процес зварювання механізований і здійснюється в безперервному або імпульсному режимі. Управління дистанційне.

Електронно-променевим зварюванням можуть бути отримані різні види зварних з'єднань та досить велика кількість типів швів. Підготовка кромки повинна забезпечити можливість їх ретельного припасування по всій довжині з мінімальним зазором і зміщенням по висоті. Електронно-променеве зварювання здійснюється здебільшого без подачі присадного матеріалу. Випуклість шва, як правило, відсутня. Отже, обробка кромки небажана.

При відновленні деталей цей вид зварювання рекомендується застосовувати у разі заміни частини деталі замість зношеної.

**3.1.4 Контактним** називається зварювання із застосуванням тиску, при якому використовується теплота, яка виділяється в контактні частини, що зварюються, при проходженні електричного струму.

За формою зварного з'єднання розрізняють точкове, стикове, шовне та рельєфне зварювання (рис. 3.12).

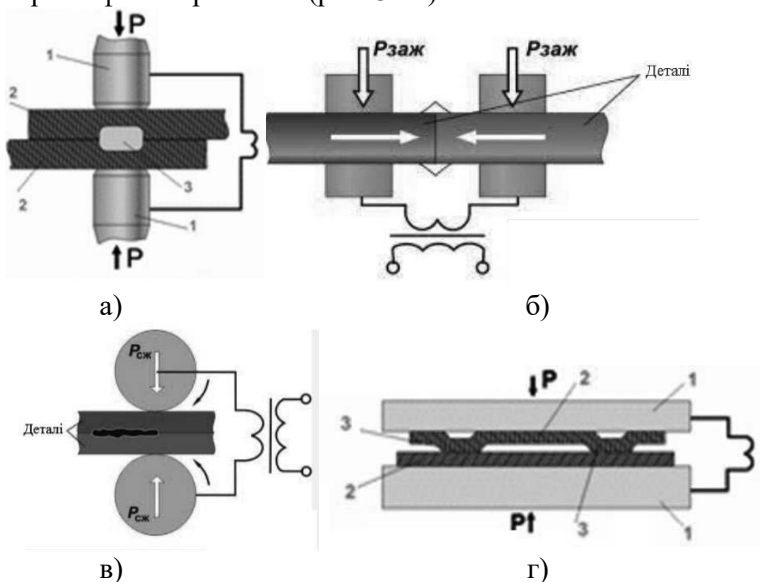


Рис. 3.12 – Схеми контактного зварювання: а – точкове; б – стикове; в – шовне; г – рельєфне; 1 – контактні плити; 2 – деталі, що зварюються; 3 – рельєфи; 4 – зварювальні точки



При **точковому зварюванні** деталі, що з'єднуються (найчастіше листи) складають з напуском і затискають між двома мідними електродами, які підводять струм до місця зварювання і мають форму зрізаного конуса (рис. 3.12, а). Струм проходить від одного електрода до іншого через товщу з'єднаних деталей і відбувається місцевий розігрів. Тиском, прикладеним до електродів, здійснюють осадку. Отримане зварне з'єднання має в плані форму кружка діаметром кілька міліметрів, званого точкою.

При **стиковому зварюванні** через стик з'єднаних деталей приблизно однакового перерізу пропускається струм (рис. 3.12, б); після розігріву зони зварювання проводиться осадка.

При **шовному зварюванні** електроди, що підводять струм до виробу і здійснюють осадку, мають форму роликів, що котяться по виробу. При шовному зварюванні листи з'єднуються безперервним щільним швом (рис. 3.12, в).

При **рельєфному зварюванні** деталі контактують по виступах-рельєфах (рис. 3.12, г) і стискаються між електродом та контактною плитою з електродними вставками або без них. Рельєфне зварювання може здійснюватися по одному або кількох рельєфах одночасно.

У ремонтному виробництві контактні методи зварювання використовуються у двох напрямках: для приварювання накладок і при усуненні тріщин у базисних деталях; при приварюванні елементів і частин, що компенсують знос деталей.

**3.1.5 Зварювання тертям** – це зварювання із застосуванням тиску, при якому нагрівання здійснюється тертям, викликаним відносним переміщенням зварюваних частин або інструмента.

Для з'єднання круглих циліндричних стрижнів або трубок деталі закріплюють у затискачах машин і стискаються торцями. Одна деталь залишається нерухомою, інша обертається із частотою 500...1500 об/хв і весь час притискається до нерухомої деталі (рис. 3.13).

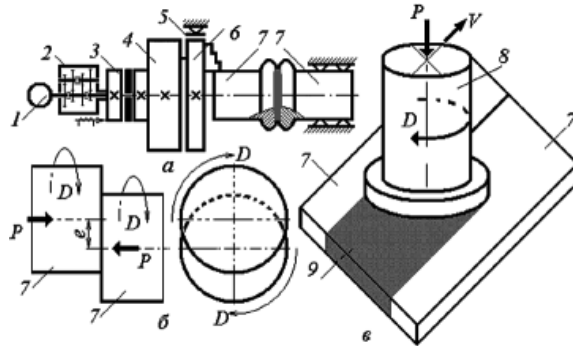


Рис. 3.13 – Схеми зварювання тертям: а – інерційне; б – орбітальне; в – з перемішуванням; 1 – електромотор; 2 – коробка швидкостей; 3 – електромагнітна муфта; 4 – маховик; 5 – гальмо; 6 – патрон; 7 – зварювані заготовки; 8 – індентор; 9 – зварний шов;  $D, V$  – обертальний і поступальний рух;  $P$  – тиск проковки

Внаслідок тертя торці деталей швидко розігріваються і через невеликий проміжок часу доводяться до оплавлення. При цьому автоматично вимикається фрикційна муфта, припиняючи обертання шпинделя, а потім проводиться осьова осадка деталей. Цей спосіб відрізняється високими продуктивністю (машинний час для різних деталей 1,5... ..50 с), якістю та стабільністю зварювання, оскільки процес автоматизовано і всі параметри (частота обертання, зусилля осадки, час зварювання) постійні. Він економічний і має високий ККД, при цьому споживання електричної потужності 15...20 Вт/мм<sup>2</sup>, а споживання електроенергії у 7-10 разів менше, ніж при контактному зварюванні.

Цей спосіб дозволяє зварювати різномірні метали (алюміній із міддю, алюміній зі сталлю, мідь із сталлю). Ширина зони впливу зварного з'єднання трохи більше 2...3 мм. Для зварювання заготовок діаметром 25...70 мм випускаються машини чотирьох типів номінальною потужністю 10...75 кВт, продуктивність машин 70-150 зварювань на годину.

**3.1.6 Дифузійним** називається зварювання тиском, що здійснюється за рахунок взаємної дифузії атомів у тонких поверхневих шарах контактуючих частин.

Дифузійне зварювання виконують у спеціальних установках нескладної конструкції (рис. 3.14). Зварювані деталі поміщають у вакуумну камеру, що охолоджується проточною водою. У робочій камері розрідження забезпечується вакуумним (форвакуумним) насосом; тиск на деталі, що з'єднуються, передається від гідроциліндра, а нагрівається з'єднання індуктором від високочастотної установки.

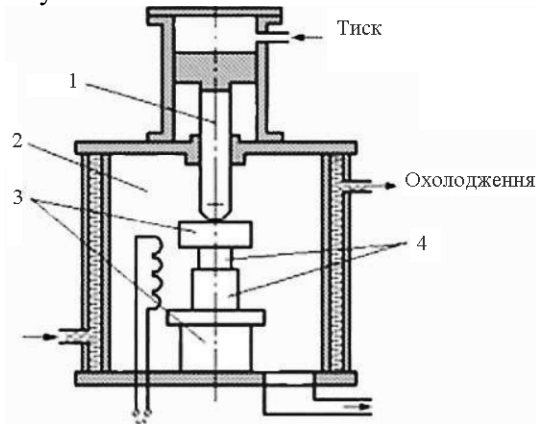


Рис. 3.14 – Схема дифузійного зварювання: 1 – силовий механізм; 2 – робоча камера; 3 – оправка; 4 – матеріал, що зварюється

У процесі зварювання необхідно контролювати три основні параметри: температура повинна становити  $0,5 \dots 0,7$  температури плавлення металу деталі з нижчою температурою плавлення, тиск повинен бути достатнім для отримання надійного контакту деталей і для руйнування оксидних плівок, а час мінімальним для забезпечення протікання дифузійного процесу (1...5 хв.).

Прикладом використання цього виду зварювання може бути технологія відновлення первинних валів коробки передач автомобілів, у яких зношуються в основному зубці вінців прямої передачі. Для відновлення валу зношених вінців зрізають і дифузійним зварюванням у вакуумі з'єднують з валом спеціально виготовлений вінць.

## 3.2 Наплавлення

**Наплавлення** – нанесення за допомогою зварювання плавленням шару на поверхню деталі. Укрупнена класифікація основних видів наплавлення показано на рис. 1.11. За ступенем механізації та автоматизації процесу розрізняють ручне, механізоване та автоматичне наплавлення.

Наплавні роботи становлять 77% загального обсягу робіт із нанесення покриттів при відновленні деталей на ремонтних підприємствах.

Окремі види наплавлення у загальному обсязі цих робіт становлять, %: наплавлення під шаром флюсу – 41; вібродугове наплавлення – 15; наплавлення в середовищі захисних газів – 26; наплавлення дротом без захисного середовища – 13; плазмове наплавлення – 2; електрошлакове наплавлення – 2; інші способи – 1.

**3.2.1 Дугове наплавлення під шаром флюсу.** При напавленні під шаром флюсу електрична дуга горить між деталлю і кінцем голого електродного дроту, що подається в зону дуги автоматично по мірі розплавлення. Одночасно дуга автоматично переміщається вздовж деталі, що повільно обертається. При цьому до місця зварювання з бункера безперервно подається флюс, що повністю закриває дугу і робить її невидимою (рис. 3.15).

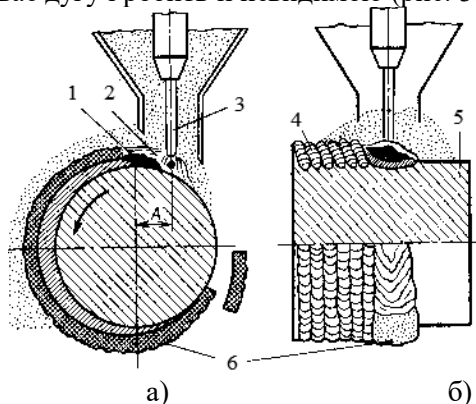


Рис. 3.15 – Схема наплавлення під шаром флюсу: а – поперечний переріз; б – поздовжній переріз; 1 – ванна розплавленого металу; 2 – розплавлений флюс; 3 – електродний дріт; 4 – наплавлений шар металу; 5 – деталь; 6 – шлакова кірка; А – зміщення електродного дроту із зеніту

Таким чином, весь процес, починаючи від горіння дуги і закінчуючи утворенням наплавленого шару, відбувається під шаром флюсу, при цьому зварювальна ванна добре захищається від шкідливого впливу кисню та азоту повітря. Наявність значного шару флюсу сприяє повільній кристалізації рідкого металу, внаслідок чого з нього встигає видалитись розчинений газ, а статичний тиск флюсу перешкоджає розбризкуванню рідкого металу під дією газів, що утворюються при частковому розкладанні флюсу. В результаті наплавлений метал виходить високоякісним.

Електродний дріт при наплавленні підбирається залежно від матеріалу відновлюваної деталі і вимог, що до неї висуваються в умовах експлуатації. Флюси, що застосовуються при цьому, повинні сприяти стійкому горінню дуги, утворенню щільного наплавленого металу і шлаку, що легко видаляється з поверхні металу. Температура плавлення флюсу повинна бути на 200...300°C нижче температури плавлення металу.

Флюси, що застосовуються для наплавлення, поділяються на три класи: плавлені, керамічні та флюси-суміші. При цьому вони містять різні за призначенням елементи: розкислювальні, легуючі, шлакоутворюючі та ін.

**Плавлені флюси** (АН-348А, АН-10, ОСЦ-45 та ін.) легують наплавлений метал кремнієм та марганцем за рахунок відновлення, проте їхня легуюча здатність невелика.

**Керамічні флюси** являють собою механічну суміш ретельно подрібнених легуючих, розкислювальних, модифікуючих та шлакоутворюючих компонентів, що зцементовані розчином рідкого скла. Основні марки керамічних флюсів, які застосовуються при відновленні деталей: АНК-18, АНК-19 та ЖСН-1.

**Флюси-суміші** містять найчастіше плавлений флюс АН-348А і дрібноподрібнені добавки (ферохрому, феромарганцю, графіту та ін.), з'єднані із зернами флюсу за допомогою рідкого скла, яке обгортає всі зерна флюсу АН-348А. До їхньої поверхні рівномірно прилипають дрібні частинки ферохрому та графіту. Допускається не більше 5% зерен флюсу, не вкритих частинками графіту та ферохрому. Отриману суміш ретельно перемішують та сушать протягом 3 годин при температурі 450°C. Після цього флюс за необхідності подрібнюють та відсівають частинки потрібної грануляції.

Для зміни хімічного складу наплавленого металу шляхом введення в нього легуючих елементів (хрому, нікелю, молібдену, ванадію та ін.) або збільшення в ньому кількості постійних корисних домішок сталей (вуглецю, кремнію та марганцю) можна застосовувати чотири різних способи легування: 1 – найбільш поширений через свою простоту і надійність – легований дріт і плавлений флюс; 2 – порошковий дріт та плавлений флюс; 3 – звичайний маловуглецевий дріт і легуючий флюс; 4 – звичайний маловуглецевий дріт, звичайний флюс з добавками до нього легуючих складових або засипання їх на поверхню виробу.

Орієнтовні режими наплавлення циліндричних поверхонь під шаром флюсу суцільним дротом наведено у табл. 3.6.

Механізоване наплавлення під шаром флюсу виконують за допомогою зварювальних головок А-284, А-409, зварювальних тракторів АДС-500, АДС-1000, Т-26, УТ-1250-3, ТС-17МУ та напівавтоматів ПШ-5-1, ПШ-54, ПДШМ-500. Як джерела струму використовують зварювальні перетворювачі ПСГ-500, ПСУ-500 випрямлячі ВС-600, ВС-1000, ВДГ-502, ВДГ-301 та ін.

Таблиця 3.6 – Режими наплавлення циліндричних поверхонь під шаром флюсу суцільним дротом

Діаметр деталі, мм	Сила струму, А	Швидкість подачі дроту, м/год	Діаметр електродного дроту, мм
50-60	120-160	75	1,2-2,5
65-76	150-220	85	1,2-2,5
80-100	200-280	105	1,2-2,5
150-200	250-350	140	1,2-2,5

Для відновлення деталей під шаром флюсу і порошковим дротом відкритою дугою випускаються спеціалізовані верстати ОКС-11200, ОКС-11236, ОКС-11237, ОКС-11238, У-470, ОКС-11253, У-653, УД-2 та ін.

**3.2.2 Вібродуговим наплавленням** називається уривчастий дуговий процес, при якому електрод вібує вздовж своєї осі, викликаючи короткі замикання в зварювальному ланцюзі та обумовлюючи короточасні періоди існування дуги. Дріт, що подається в зону наплавлення за допомогою електромагнітного або

механічного пристрою, здійснює зворотно-поступальні рухи частотою до 100 разів у секунду і розмахом 0,5...3,0 мм (рис. 3.16). Оскільки тривалість існування дуги невелика і становить 20% всього циклу, провар основного металу виходить неглибоким, з невеликою зоною термічного впливу.

Вібродугове наплавлення здійснюють найчастіше у водних розчинах (розчин кальцинованої соди або 25%-й розчин технічного гліцерину у воді). Наявність рідини забезпечує високу швидкість охолодження, що сприяє зменшенню деформації деталі, а також загартуванню наплавленого металу. Ці особливості процесу послужили основою його застосування при напавленні деталей невеликого розміру, знос яких становить менше 1 мм. При силі струму 100...200 А напруга на дузі 18...25 В, продуктивність процесу становить 1...2 кг наплавленого металу на годину. Втрати електродного металу на угар і розбризування становлять 11...30% при коефіцієнті наплавлення 8...10 г/(А·год.).

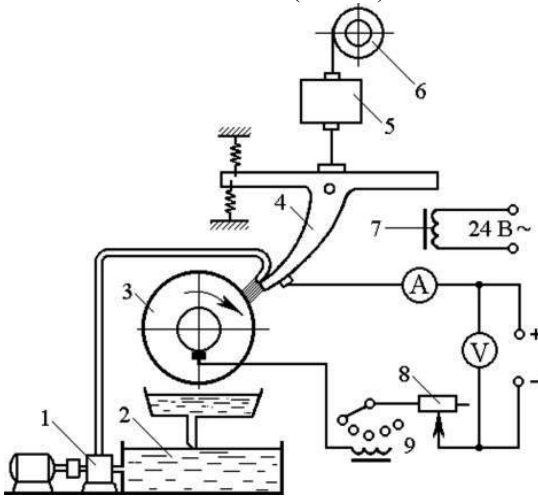


Рис. 3.16 – Схема установки для вібродугового наплавлення: 1 – насос; 2 – бак; 3 – деталь; 4 – мундштук; 5 – механізм подачі; 6 – касета з дротом; 7 – вібратор; 8 – реостат; 9 – індукційний резистор

До недоліків цього способу слід віднести часто виникаючі дефекти в наплавленому металі у вигляді дрібних газових пор, тріщин, а також нерівномірну його твердість. Утомна міцність деталей, відновлених зазначеним способом, істотно знижується. Цей недолік

змусив дослідників та виробників шукати шляхи його усунення, в результаті чого останнім часом розроблені різновиди вібродугового наплавлення: під шаром флюсу, в середовищі вуглекислого газу, аргону, в рідкому середовищі, в потоці повітря, в середовищі пару або піни. Загальна особливість цих способів – роздільне застосування захисту металу, що наплавляється, (за допомогою різних захисних середовищ) і регулювання теплового стану деталі охолодженням її рідиною в зоні наплавлення або підігріву.

Найбільш ефективно вібродугове наплавлення в газорідному середовищі. При цьому струмінь кисню низького тиску витісняє атмосферне повітря із зони наплавлення. У зону зварювання постійно разом із киснем потрапляє невелика (0,3 л/год.) кількість води, що у 100 разів менше, ніж при вібродуговому напавленні в рідині, яка в зоні горіння дуги випаровується, а водень, що дисоціює з неї, знижує окислювальну дію кисню. При відновленні деталей даним способом для отримання напавленого металу необхідно застосовувати дрiт з підвищеним вмістом кремнію, марганцю та вуглецю, які компенсують угар цих елементів у напавленому шарі.

При вібродуговому напавленні використовують зварювальний вуглецевий або легований дрiт діаметром 1,0...1,5 мм; Св-08, Св-08А, Св-08ГА, Св-10Г2С, Св-18ХГСА, Св-10ХМ та Св-18ХМА.

В установках для автоматичного вібродугового напавлення застосовують напавні головки НИИАТ УАНЖ-5 і УАНЖ-6, ОКС-1252М і ОКС-6569, що забезпечують направлену подачу, регулювання частоти і амплітуди вібрації електродного дроту і підведення до неї струму в момент напавлення деталі.

**3.2.3 Напавленням в середовищі захисних газів** називається дугове напавлення, при якому дуга і метал, що розплавляється, а в деяких випадках і шов, який охолоджується, знаходяться в захисному газі, який подається в зону зварювання за допомогою спеціальних пристроїв.

Напавлення в середовищі захисних газів в основному буває двох різновидів – плавкими та неплавкими електродами.

Напавлення плавким електродом у середовищі захисного газу протікає в умовах потоку газу з боку подачі електродного дроту



(наплавного матеріалу), що забезпечує захист зони дуги від навколишнього повітря.

Як захисний газ найчастіше використовують  $\text{CO}_2$ , хоча останнім часом поширена практика наплавлення в суміші вуглекислого газу з аргоном та іншими інертними газами.

У електродний матеріал при наплавленні вуглекислим газом вводять елементи-розкислювачі (титан, кремній, марганець, вуглець) та інші легуючі елементи, що перешкоджають окисленню хімічно активних домішок у дроті.

Схема процесу наплавлення в середовищі вуглекислого газу показана на рис. 3.17.

Спосіб дає можливість наплавляти деталі діаметром від 15 мм і вище практично без їх деформації при нанесенні шарів товщиною 1...6 мм.

Охолодна рідина загартовує нанесений шар і дозволяє регулювати його твердість у широких межах (HRC 20-50).

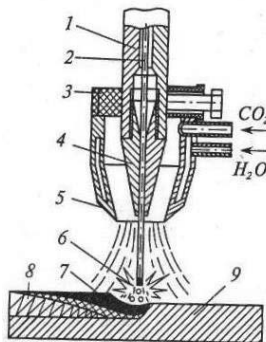


Рис. 3.17 – Схема наплавлення в середовищі вуглекислого газу:  
1 – мундштук; 2 – електродний дріт; 3 – пальник; 4 – наконечник;  
5 – сопло пальника; 6 – електрична дуга; 7 – зварювальна ванна;  
8 – наплавлений метал; 9 – деталь, що наплавляється

Матеріалом для наплавлення служить дріт наступних марок: Св-08ГС, Св-08Г2С, Св-12ГС, Св-10ХГ2С, Св-18ХГСА, Нп-30ХГСА, ПП-АНЧ, ПП-АН5, ПП-АН8, ПП-3Х2В8Т, ПП-Р18Т, ПП-Х12ВФТ та ін. Хімічний склад і структура, а також якість наплавленого шару залежать від режимів наплавлення.

Режими наплавлення циліндричних деталей у вуглекислому газі наведені в табл. 3.7. Витрати вуглекислого газу встановлюють в

межах 8... 15 л/хв., виліт електрода 8...15 мм, а його зміщення 3...8 мм, при цьому товщина наплавленого шару досягає 0,8...1,0 мм.

Таблиця 3.7 – Режими наплавлення циліндричних деталей у вуглекислому газі

Діаметр деталі, мм	Діаметр дроту, мм	Сила струму, А	Швидкість наплавлення, м/год	Напруга дуги, В
10-20	0,8-1,0	70-95	20-60	18-19
20-30	0,8-1,8	90-120	30-60	18-19
30-40	0,8-1,0	110-140	40-60	18-19
40-50	1,0-1,2	130-160	40-70	18-20
50-70	1,2-1,4	140-175	50-70	19-20
70-90	1,4-1,6	170-195	60-80	20-21
90-120	1,6-2,0	196-225	60-90	20-22

Для зварювання, наплавлення в середовищі захисних газів використовують спеціальні автомати АДПГ-500, АТП-2, АДСП-2, УДС-1-58, АСА-500 і напівавтомати А-547Р, ПШП-10, ПГШ-2М, ПДПГ-300, А-537, ПГД-2М, перетворювачі ПСГ-350, ПСГ-500, зварювальні випрямлячі ВС-300, ВО-600, ВДГ-301 та ін.

Для відновлення деталей наплавленням в середовищі захисних газів служать спеціалізовані установки (ЖС-П232, 011-1-00 і У-465, УД-420, УД-209, УД-294 та ін.).

**3.2.4 Плазмовим наплавленням** називається нанесення покриття зварюванням плавленням, при цьому нагрівання здійснюється стисненою дугою.

Плазмове наплавлення ґрунтується на використанні теплоти плазмового струменя, який являє собою потік іонізованих частинок газу, що мають велику енергію. При вільному горінні електричної дуги температура у ній сягає 5000...6000°С, а при примусовому стисненні дуги значно підвищується. Таке стиснення застосовується для отримання плазмового струменя. Пропускаючи дугу разом із захисним газом (воднем, азотом, аргоном) через сопло, що охолоджується водою, її стискають і досягають іонізації потоку газу температурою до 18000°С. Принцип будови плазмотрона показаний на рис. 3.18. Електрична дуга 2 збуджується між електродом 1 і

водоохолоджувальним соплом 3, в канал якого подається газ, що проходить через плазму дуги, Він іонізується і витікає з сопла у вигляді струменя 4, що яскраво світиться. Холодні потоки газу, що утворюються в результаті інтенсивного відведення тепла соплом, теплоізолюють плазмову дугу від стінок сопла. Плазмову дугу такого виду називають дугою непрямої дії на відміну від дуги прямої дії, при якій плазмова дуга 2 горить між електродом 1 та виробом 5. Переваги цього процесу – мала глибина проплавлення основного металу, можливість наплавлення тонких шарів, висока якість наплавленого металу.

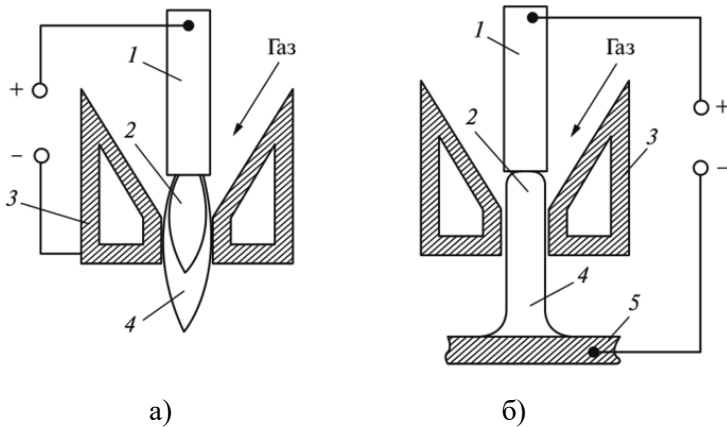


Рис. 3.18 – Пристрій плазмотрона: а – дуга непрямої дії; б – дуга прямої дії; 1 – електрод; 2 – електрична дуга; 3 – сопло; 4 – струмінь, що світиться; 5 – виріб

Існують різні способи плазмового наплавлення: із застосуванням присадного матеріалу у вигляді порошку (по шару порошку або з подачею порошку у зварювальну ванну); присадним дротом або стрічкою та ін. Плазмове наплавлення дозволяє отримати шари з твердих сплавів (сормайт, стеліт, реліт, сталініт), нержавіючих сталей, а також з міді, бронзи, латуні. Практично шари виходять безпористими і мають високу міцність зчеплення (міцність литого матеріалу). Плазмове наплавлення забезпечує високу продуктивність процесу, але потребує складного обладнання та експериментального відпрацювання технологічного процесу.

На рис. 3.19 зображена схема плазмового наплавлення по шару порошку. Спосіб та установку розроблено в Інституті

електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України. При цьому способі застосовують плазмову головку зі стабілізованим стисненим струменем, суміщеним зі стовпом дуги. Для забезпечення надійного захисту зварювальної ванни головка має спеціальне сопло, через яке до дуги подається захисний газ. Джерелом живлення дуги є зварювальний перетворювач типу ПС-300 або ПС-500.

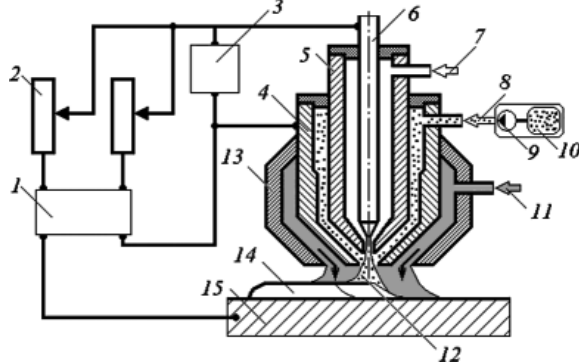


Рис. 3.19 – Схема плазмово-порошкового наплавлення: 1 – джерело струму; 2 – реостат; 3 – осцилятор; 4 – фокусуюче сопло; 5 – плазмове сопло; 6 – електрод; 7 – подача плазموутворювального газу; 8 – подача транспортувального газу спільно з порошком; 9 – компресор; 10 – порошковий накопичувач; 11 – подача захисного газу; 12 – плазма; 13 – захисне сопло; 14 – наплавлений валик; 15 – основний метал деталі

**3.2.5 Електрошлаковим наплавленням** називається отримання покриттів зварюванням плавленням, при якому для нагрівання використовується теплота, що виділяється при проходженні електричного струму через розплавлений шлак.

Механізоване електрошлакове наплавлення (ЕШН) – різновид способу електрошлакового зварювання, який був розроблений ІЕЗ ім. Є.О. Патона в співдружності з рядом заводів. Сутність процесу ЕШН пояснюється на рис. 3.20. У просторі, утвореному площиною виробу, що наплавляється, та формуючим кристалізатором 4, створюється ванна розплавленого шлаку 3, в яку подається електрод 1. Струм, проходячи між електродом і виробом, нагріває шлакову ванну до температури понад 2000°C, в результаті чого електродний і основний метали оплавляються, утворюючи металеву ванну 6, при твердінні якої створюється наплавлений метал 5. Для здійснення такого процесу

необхідна досить глибока шлакова ванна, яку найпростіше отримати вертикальним наплавленням.

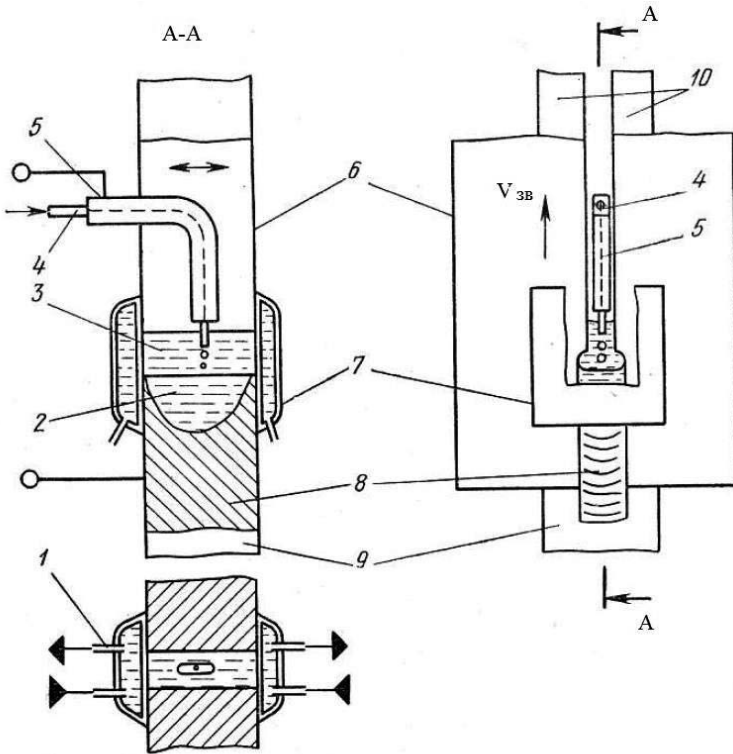


Рис. 3.20 – Схема електрошлакового наплавлення зовнішньої циліндричної поверхні дротяним електродом: 1 – електродний дріт; 2 – деталь, що наплавляється; 3 – шлакова ванна; 4 – кристалізатор; 5 – наплавлений шар; 6 – зварювальна ванна

ЕШН має ряд особливостей, що вигідно відрізняють його від інших способів наплавлення. При сталому електрошлаковому процесі, відсутнє розбрикування, а шлак надійно захищає рідку металеву ванну від шкідливого впливу повітря. Витрати флюсу на утворення шлакової кірки на поверхні металу, що наплавляється, складають не більше 5% його маси. У порівнянні з дуговим процесом при ЕШН витрати електроенергії в 1,5-2 рази, а флюсу – в 20 раз менші. При вертикальному положенні поверхні, що наплавляється, полегшується

спливання газових бульбашок, частинок шлаку і видалення їх з металу. Тому, при ЕШН схильність до утворення пор та інших нещільностей значно нижча, ніж при дуговій. Внаслідок сприятливого напрямку росту кристалів у наплавленому металі, отриманому електрошлаковим способом, значно знижується схильність до утворення кристалізаційних тріщин. Цьому також сприяють нижчі швидкості нагрівання та охолодження пришовної зони, а також кристалізації ванни рідкого металу, ніж при дуговому наплавленні.

Завдяки цим властивостям електрошлакове наплавлення застосовують для відновлення зношених поверхонь великих деталей, для отримання біметалевих деталей плоскої та циліндричної форм, а також для нанесення кольорових сплавів на поверхні сталевих та чавунних деталей тощо.

При електрошлакових процесах найчастіше застосовують флюси АН-8, АН-22, АНФ-1 та АН-25. Останній призначений для початку проведення процесу (твердий старт), оскільки він має електричну провідність і в твердому стані. При малих товщинах шару, що наплавляється, (малі зазори між деталлю і кокілем) для зносостійких сталей найбільш придатний флюс АН-22.

**3.2.6 Індукційне наплавлення.** Для відновлення і зміцнення деталей машин, схильних до інтенсивного абразивного зносу, широко застосовується індукційне наплавлення, сутність якого полягає в тому, що на поверхню відновлюваної деталі наноситься шар порошкоподібного сплаву у вигляді обмазки або шихти, що розплавляється струмами високої частоти. При проходженні через контур індуктора струмів високої частоти поверхневі шари деталі розігріваються, а шихта плавиться за рахунок теплопередачі від основного металу, причому його температура повинна бути на 50...70°C вище за температуру плавлення твердого сплаву. Швидкість підведення теплоти до поверхні, що нагрівається, повинна бути більше швидкості її відведення вглиб деталі і в навколишнє середовище.

Відповідно до перерахованих вимог при індукційному наплавленні можуть застосовуватися деякі тверді сплави типу легуваних чавунів і псевдосплави.

Для наплавлення сормайту на механічно оброблену поверхню рекомендуються оптимальні склади флюсів. Залежність складу флюсу від товщини шару шихти наведено у табл. 3.8.

Таблиця 3.8 – Залежність складу флюсу від товщини шару шихти

Товщина шару, мм	Сормайт №1, %	Борний ангідрид, %	Бура, %	Силікокальцій, %
1,5	82	10,0	5	3,0
3,0	85	7,5	5	2,5
4,5	86	5,0	5	2,0

Для підвищення продуктивності наплавлення рекомендуються установки ВЧН-63/0,4 і ВЧН-160/0,44 робочою частотою близько 440 кГц. Вибір установки СВЧ при індукційному наплавленні залежить від товщини шару, що наплавляється, площі наплавлюваної поверхні і глибини проникнення індукованого струму в деталь.

Індукційне нагрівання використовується також для наплавлення рідким присадним матеріалом. Цей процес розроблений Інститутом електрозварювання ім. Е.О. Патона НАН України має назву наморожування. Його суть полягає в послідовному твердінні (наморожуванні) локального об'єму сплаву на очищеній від оксидної плівки поверхні заготовки, зануреної в розплав металів (рис. 3.21), в результаті різниці температур заготовки та розплаву і включає такі операції: плавку присадного матеріалу; захист розплаву від окиснення; ізоляцію ненаплавлюваних частин заготовки; нанесення флюсу та очищення наплавлюваних поверхонь від оксидів (флюсування); занурення, витримку та витягання заготовки з розплаву; охолодження виробу.

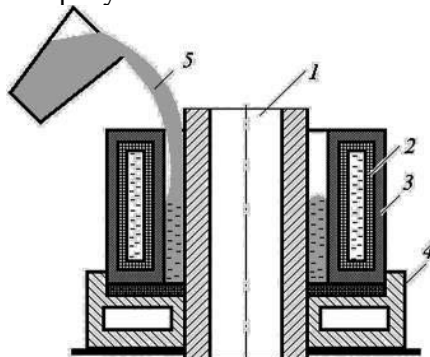


Рис. 3.21 – Схема індукційного наплавлення заливанням рідкого присадного металу на підігрітий основний метал: 1 – оброблювана деталь; 2 – індуктор; 3 – вогнетривкий склад; 4 – водоохолоджуване кільце; 5 – метал.

Експериментально виявлено можливість нарощування сталевих деталей товщиною різальної частини не менше 1,0...1,5 мм зносостійкими сплавами, легованими хромом (сормайт-1, суміші ФБХ-6-2, КБХ, БХ, ТС-1, псевдосплави ПС-14...80, ПС-14...60 та ін.).

На відміну від схеми, зображеної на рис. 3.21, наморожування може здійснюватися подачею певної порції рідкого присадного сплаву на попередньо нагріту і очищену від оксидних плівок поверхню деталі. Для наплавлення наморожуванням ІЕЗ ім. Патона розроблені леговані бором хромонікелеві сплави ЕП616 і ЕП616А, які в 4 рази дешевші за кобальтові стеліти і не поступаються їм за твердістю при 20...700°C.

**3.2.7 Електроферромагнітне наплавлення.** Відновлювану деталь 1 (рис. 3.22) встановлюють з деяким зазором щодо полюсного наконечника 4 осердя 5. Електромагнітна котушка живиться постійним або випрямленим пульсуючим струмом.

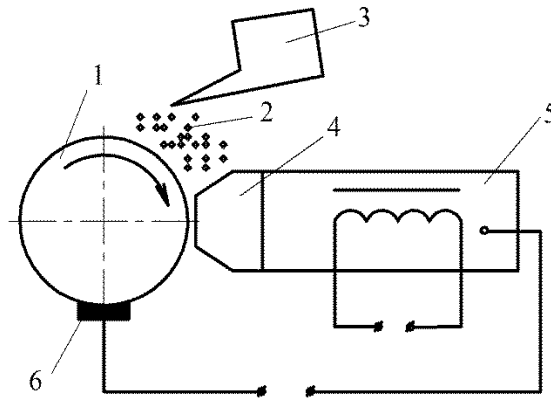


Рис. 3.22 – Схема електроферромагнітного наплавлення:

- 1 – відновлювана деталь; 2 – ферромагнітний порошок; 3 – бункерний дозувальний пристрій; 4 – полюсний наконечник; 5 – сердечник;
- 6 – ковзний контакт

Магнітний потік пронизує деталь у радіальному напрямі. Осердя підключається до одного, а деталь через ковзний контакт 6 – до іншого полюса джерела технологічного струму. При обертанні деталі в зазор між відновлюваною поверхнею і полюсним наконечником електромагніту з бункера дозуючим пристроєм 3 безперервно подається ферромагнітний порошок 2. Орієнтуючись в



засорі вздовж магнітних силових ліній, зерна феропорошку утворюють струмопровідні ланцюжки, що замикають електричний ланцюг між осердям і деталлю. Унаслідок дії електричного струму та мікрострумів, що генеруються в зернах, зерна порошку розплавляються. Утворені мікрокраплі феромагнітного матеріалу розподіляються під впливом магнітного поля по оброблюваній поверхні деталі і дифундують у нагрітий шар.

**3.2.8 Легування** – один із найбільш ефективних способів підвищення фізико-механічних властивостей та зносостійкості виробів при відновленні наплавленням. Усі численні способи легування, згідно з класифікацією, поділяють на чотири способи (рис. 3.23).

Відповідно до рис. 3.23 перший спосіб (а) – застосовують легований електродний дріт або стрічку із звичайним флюсом.

Другий спосіб (б) – використовують присадку легуючих матеріалів через дріт або разом із дротом та звичайним флюсом. До цього методу можуть бути віднесені як порошкові дроти, так і стрічки.

Третій спосіб (в) – застосовують звичайний дріт або стрічку та легуючий флюс.

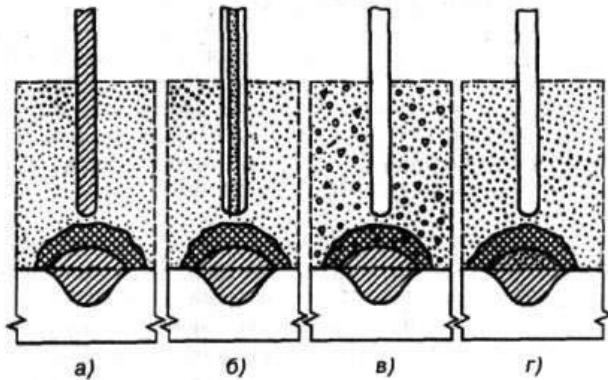


Рис. 3.23 – Способи легування наплавленого металу: а – використання зварювального дроту; б – порошкового дроту; в – через керамічний флюс; г – шлікерне покриття

Четвертим способом (г) наносять легуючі добавки у вигляді порошкових сумішей на поверхню виробу. Наплавлення виконують звичайними електродами та флюсом до повного розплавлення

легуючих добавок. До цього способу можуть бути віднесені: укладання на поверхню прутка присадного матеріалу, насипка порошку, що легує, нанесення легуючих паст і ін.

На кафедрі сервісної інженерії та технології матеріалів в машинобудуванні ім. О.І. Сідашенко ДБТУ запропоновано спосіб відновлення та зміцнення деталей механізованим наплавленням.

Даний технологічний процес відрізняється тим, що для його реалізації не потрібні великі запаси витратних матеріалів, що особливо важливо, в тому числі, як для малих ремонтних майстерень, так і для великих фермерських господарств, які мають найпростіше зварювальне обладнання і відновлюють малу кількість деталей, але великої номенклатури. Цей спосіб відновлення і зміцнення деталей (рис. 3.24) включає насичення легуючими компонентами зварювального дроту 1, який фіксується і калібрується в направляючих роликах 2.

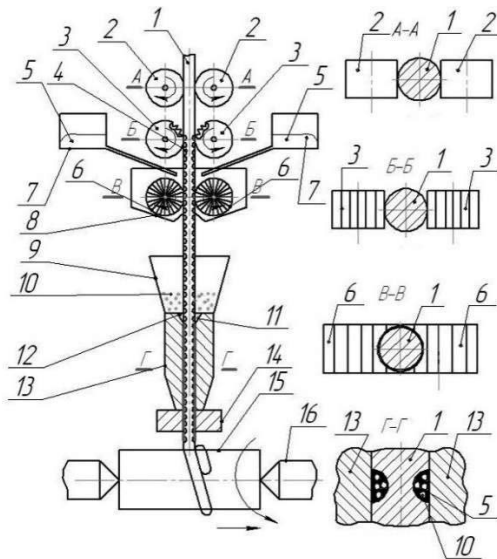


Рис. 3.24 – Конструктивна схема механізованого відновлення та зміцнення деталей: *A-A* – розріз конструктивної схеми калібрування зварювального дроту в напрямних роликах; *B-B* – розріз конструктивної схеми з насічками; *B-B* – розріз конструктивної схеми нанесення клейової речовини на зварювальний дріт; *Г-Г* – розріз конструктивної схеми ущільнення порошку з легуючими компонентами в насічках

На поверхні дроту, за допомогою роликів 3 з виступами, формуються насічки 4 заданої форми. Потім на її поверхню 1 наноситься тонкий рівномірний шар клейової речовини 5 за допомогою валиків 6. Клейова речовина 5 самопливом подається з ємностей 7 на валики 6, а його небажане витікання запобігає форма кожуха 8. Далі зварювальний дріт 1 надходить у бункер 9 з порошком 10, що містить легуючі компоненти, де відбувається заповнення ним насічок 4. Необхідне зчеплення порошку 10 з поверхнею зварювального дроту 1 забезпечується за рахунок нанесеної на неї клейової речовини 5 з калібруючого каналу 12 мундштука 13, де відбувається ущільнення порошку 10 з легуючими компонентами в зоні насічок 4. Після цього зварювальний дріт 1 проходить через струмопідвідний мундштук 14 і подається в зону відновлення деталі 15.

За запропонованою конструктивною схемою механізованого відновлення та зміцнення деталей розроблено технічну документацію та виготовлено наплавну головку (рис. 3.25).



Рис. 3.25 – Зовнішній вигляд наплавної головки: 1 – ємність з клейовою речовиною; 2 – деталь, що відновлюється

Форма насічок, що утворюються в результаті дії на дріт суцільного перерізу роликів з ребристою поверхнею (рис. 3.26), залежить від сили їх притискання до дроту.

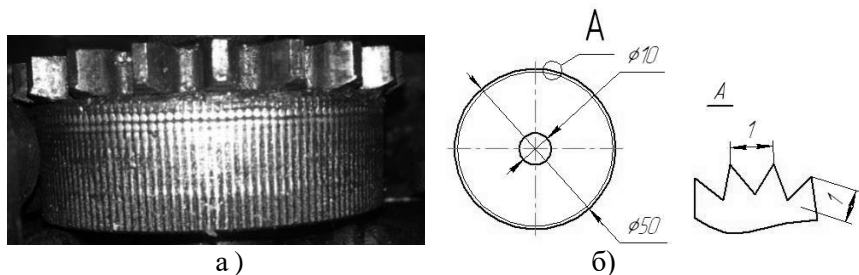


Рис. 3.26 – Притискний ролик для утворення насічок: а – зовнішній вигляд; б – геометрична форма

Сила притискання рухомого ролика 1 до нерухомого 2 регулюється за допомогою механізму, що створює зусилля притискання їх до дроту 3 (рис. 3.27).

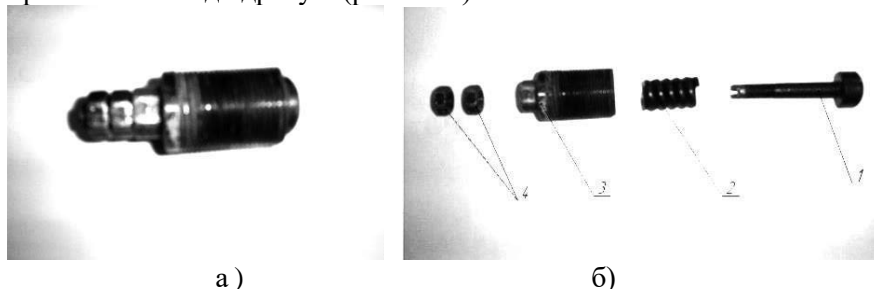


Рис. 3.27 – Механізм, який створює зусилля притискання роликів до дроту: а – у зборі; б – складові деталі; 1 – шток; 2 – пружина; 3 – корпус; 4 – гайки

Геометричні розміри насічок, діаметр, глибина та їх крок, визначають кількість порошку, що подається. Формування насічки залежить від зусилля притискання ролика до поверхні дроту. Для цього протарували пружину механізму, що створює силу притискання  $F$  деформуючого ролика до дроту.

На рис. 3.28 представлено дрід з насічками при різному зусиллі притискання роликів.

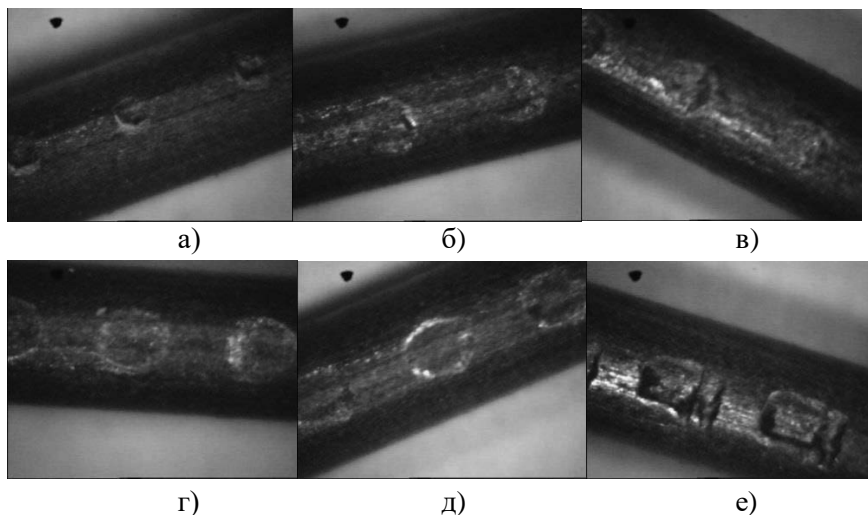


Рис. 3.28 – Форма насічок залежно від зусилля притискання роликів: а – при 0,15 кН; б – 0,30 кН; в – 0,45 кН; г – 0,60 кН; д – 0,75 кН; е – 0,90 кН,  $\times 15$

При малому зусиллі поверхні дроту насічки мають невеликий діаметр, але зі збільшенням зусилля притискання форма насічок змінюється. При максимальному зусиллі притискний ролик утворює прямокутні насічки і перетискає дріт, так що при проходженні через отвір мундштука, що калібрує, відбувається її заклинювання.

Оптимальним виявилось значення глибини насічки, що дорівнює 0,15 мм (рис. 3.29). У цьому діаметр її становив 0,39 мм.

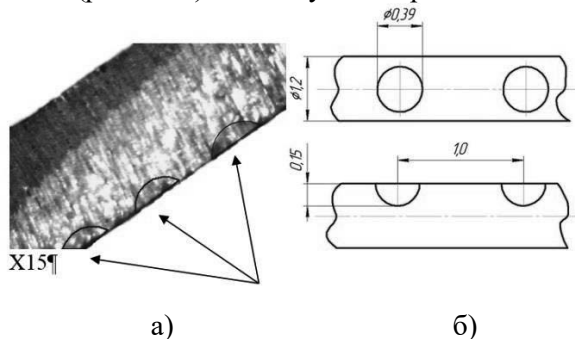


Рис. 3.29 – Вид насічок у розрізі (а) та усереднені їх геометричні розміри (б)

Для визначення об'єму порошкової композиції, розміщеної в насічці, була експериментально оцінена її глибина  $h$  і діаметр  $D$  (табл. 3.9).

Таблиця 3.9 – Залежність діаметра та глибини насічок від сили притискання роликів до дроту

Сила притискання роликів, кН	Діаметр насічки $D$ , мм	Глибина насічки $h$ , мм
0,15	0,32	0,12
0,30	0,35	0,13
0,45	0,39	0,15
0,60	0,52	0,19
0,75	0,55	0,21
0,90	0,74	0,28

На рис. 3.30 показано заповнення насічок порошковою композицією.

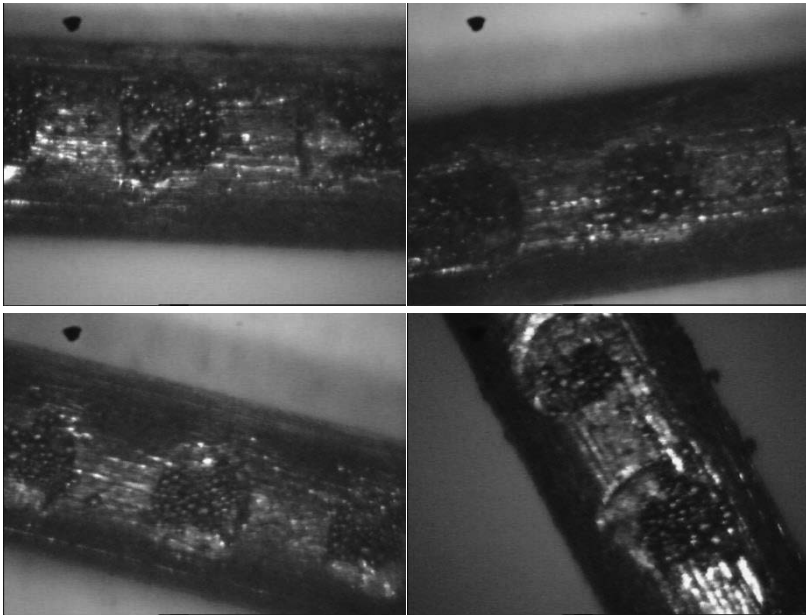


Рис. 3.30 – Зовнішній вигляд насічок на дроті, заповнених порошком,  $\times 15$

При заданих розмірах дроту суцільного перерізу ( $\varnothing 1,2$  мм) до шару, що відновлюється, надійде до 2% легуючих елементів від використовуваного об'єму дроту.

При такому способі відновлення деталей кількість легуючих добавок у наплавленні можна регулювати:

- геометричними розмірами насічок;
- кількістю зубів деформуючого ролика (кількістю насічок на довжину дроту).

Для визначення технологічних параметрів відновлення використовували дріт 1,2 Нп-30ХГСА, а як легуючу присадку – порошок ПГ-10Н-01. Запропоновано спосіб введення порошкової легуючої композиції у відновлюваний шар та рекомендовані параметри насічок, притискання та утримання порошку, які забезпечують стабільне та дозоване його введення в зону наплавлення. Теоретичними розрахунками визначено оптимальні параметри насічок, що наносяться на дріт. До них відносяться: сила притискання роликів дорівнює 0,45 кН, глибина насічок 0,15 мм та їх діаметр 0,39 мм, відстань між насічками – 1 мм.

Експериментально визначено та рекомендовано параметри наплавлення для здійснення процесу легування на прикладі валу ( $\varnothing 35$  мм): сила струму  $I_{напл} = 160$  А, напруга  $U_{напл} = 20$  В, швидкість подачі дроту  $V_{др} = 0,04$  м/с, частота обертання деталі  $n=2$  про /хв, зміщення електрода з zenіту 2 мм та його виліт –  $\delta = 12$  мм, швидкість наплавлення  $V_{напл} = 0,019$  м/с.

### 3.3 Наварювання

Наплавлення як метод відновлення деталей машин, незважаючи на велике поширення в ремонтному виробництві, має ряд істотних недоліків, в першу чергу, через велике тепловиділення в деталь. У деталі виникають гартувальні структури, які призводять до порушення геометричної форми та виникнення мікротріщин, і ускладнюють обробку різанням. Внаслідок інтенсивної дифузії елементів у деталь виникають певні труднощі у забезпеченні шарам потрібної товщини високої зносостійкості.

Недоліки наплавлення особливо виявляються у випадку відновлення деталей з малими зносами, що становлять до 80% загальної кількості деталей, що відновлюються. Аналіз різних

способів наплавлення показує, що мінімально можлива товщина покриття обмежена. Так, наплавленням під шаром флюсу не можна отримати покриття товщиною менше 3 мм, а вібродуговим наплавленням в рідині та захисних газах – менше 2 мм. Таким чином, при механічній обробці основна частина наплавленого металу перетворюється на стружку.

Крім цього, більшість видів наплавлення пов'язані з важкими та шкідливими умовами праці.

Багатьох із зазначених недоліків позбавлені способи нанесення покриттів із застосуванням зварювання тиском.

**Наварювання** – нанесення шару металу на поверхню деталі за допомогою зварювання із застосуванням тиску.

Найбільший інтерес з точки зору нанесення покриттів викликає **контактне наварювання**, при якому для нанесення металу використовується теплота, що виділяється в контактній частині присадного матеріалу при проходженні електричного струму.

Залежно від виду і форми присадного матеріалу розрізняють контактне наварювання компактних (стрічки, дроту) і порошкових (гранульованих) матеріалів, а також стрічок, армованих твердосплавним порошком. Контактним наварюванням порошкоподібних матеріалів називається один із способів припикання – процесу, що відноситься до галузі порошкової металургії.

Контактне наварювання стрічки здійснюється на спеціальних установках спільним деформуванням металу, що наварюється, та поверхневого шару основного металу, нагрітих в області деформації до пластичного стану короткими (0,02...0,16 с) імпульсами струму 7...30 кА. Утворювані при цьому зварювальні точки розташовуються по гвинтовій лінії і частково перекривають одна одну як вздовж рядків, так і між ними, що досягається обертанням деталі зі швидкістю, пропорційною частоті імпульсів, і поздовжнім переміщенням зварювальних кліщів (рис. 3.31).



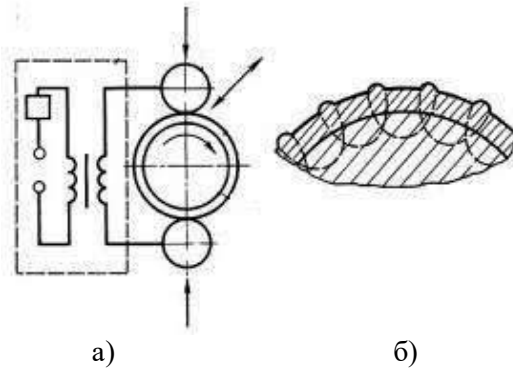


Рис. 3.31 – Схема наварювання стрічки на деталь типу вал (а) і перекриття імпульсів під час наварювання (б)

Регульовані імпульси зварювального струму можуть бути отримані використанням регуляторів циклів зварювання, що застосовуються в серійних зварювальних машинах, а також конденсаторних джерел живлення. Для зменшення нагріву деталі та підвищення твердості навареного шару в зону зварювання подають охолоджувальну рідину.

Найбільш часто спосіб контактного наварювання стрічки використовується для відновлення посадкових місць під вальниці в корпусних деталях та на валах.

Для вибору матеріалу стрічки, а також режимів наварювання можна скористатися даними табл. 3.9 та 3.10. Твердість навареного шару в залежності від матеріалу стрічки наведена в табл. 3.10, а режими наварювання металеві стрічки – в табл. 3.11.

Таблиця 3.10 – Твердість навареного шару в залежності від матеріалу стрічки

Марка сталі	Твердість, HRC	Марка сталі	Твердість, HRC
Сталь 20	20-25	Сталь 55	50-55
Сталь 40	40-45	Сталь 40X	50-60
Сталь 45	40-50	Сталь 65Г	60-65

Таблиця 3.11 – Режими наварювання металеві стрічки

Показник	Деталь	
	корпусна	типу вал
Сила зварювального струму, кА	7,8-8,0	16,1-18,1
Тривалість зварювального циклу, с	0,12-0,8	0,04-0,08
Тривалість паузи, с	0,08-0,1	0,1-0,12
Швидкість зварювання, м/хв	0,5	0,7-12,5
Подача електродів, мм/об	Вручну	3-4
Сила притискання електродів, кН	1,07-2,25	1,3-1,6
Ширина робочої частини електродів, мм	8	4
Діаметр електродів, мм	50	150-180
Матеріал стрічки	Сталь 20	Сталь 40- сталь 50
Матеріал деталі	Чавун	Сталь
Витрати охолоджувальної рідини, л/хв	0,5-1,0	1,5-2,0

При використанні як присадного матеріалу дроту він подається в зону контакту електрод-деталь безперервно, як і при звичайному автоматичному дуговому наплавленні.

Контактне наварювання дроту зазвичай використовується для відновлення нарізних ділянок валів. При цьому діаметр присадного дроту підбирають таким, щоб при наварюванні він повністю заповнював западину нарізі і виступав на величину припуску, необхідного для подальшої обробки. Враховуючи зношування витків, його потрібно приймати рівним кроку нарізі.

Наварювання дроту проводиться за один прохід відповідно до режимів, наведених у табл. 3.12.

Таблиця 3.12 – Режими наварювання дроту

Зовнішній діаметр нарізної поверхні, мм	Частота обертання шпинделя, хв <sup>-1</sup>	Зварювальний струм, кА	Тривалість, с	
			імпульсу	паузи
15	8	5,5-6,0	0,06	0,08
20	6	6,5-7,0	0,08	0,08
30	5	7,5-8,0	0,12	0,08

Подача зварювальної головки за один оборот шпинделя повинна дорівнювати кроку нарізи, а зусилля стиснення електродів – 2...3 кН.

Для здійснення процесів відновлення деталей контактним наварюванням металевого шару розроблено зварювально-наварювальні установки, призначені для відновлення окремих груп деталей.

Розглянемо інший спосіб нанесення покриттів – **наварювання тертям**.

При використанні цього способу відновлювана деталь 3 (рис. 3.32) нагрівається через мідні контакти 4 електричним струмом до температури 300°C, а потім до неї під тиском підводиться пруток 1, що обертається. Внаслідок тертя торець прутка швидко нагрівається і переходить у високопластичний стан, в результаті чого від нього починають відриватись частинки металу, які при обертанні деталі наварюються на її поверхню. На торці прутка метал видавлюється в радіальному напрямку. Частина металу, що видавилася, зрізається спеціальним різцем 2. Мідні контакти охолоджуються водою, яка циркулює по трубопроводах 5. При діаметрі прутка 12 мм, виготовленого зі сталі У-8, оптимальним є такий режим наварювання тертям: частота обертання прутка 2000...2500 об./хв., питомий тиск на пруток 7 МПа. При наварюванні прутком зі сталі 45 ці параметри режиму відповідно дорівнюють 1800...2000 об./хв. і 5,5 МПа.

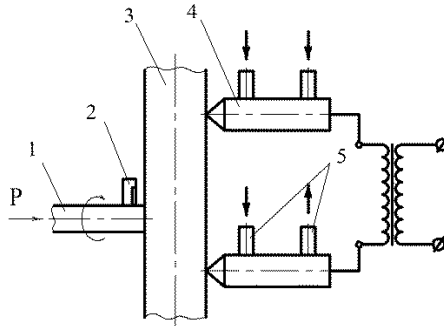


Рис. 3.32 – Схема наварювання тертям: 1 – пруток, що обертається; 2 – різець; 3 – деталь; 4 – мідні контакти; 5 – трубопровід

Наварювати вали прутком з твердого сплаву сормайт-1 (ПР-С1) можна на токарно-гвинторізному верстаті, забезпеченому редуктором, що знижує частоту обертання шпинделя. На супорті

верстата замість різцетримача розміщуються вузол кріплення прутка і привід його обертання. При діаметрі прутка ПР-С1-8 мм частота його обертання  $n_{np} = 3000...3400$  хв<sup>-1</sup>, поперечна подача 6,24...7,5 мм на оберт прутка, частота обертання деталі  $n_d = 2$  хв<sup>-1</sup>. Наварений шар являє собою евтектичну структуру з рівномірно розподіленою дрібнодисперсною карбідною фазою, що властиво сормайту після кування та прокатки.

### 3.4 Газотермічне напилювання

**Газотермічним** називається найбільш універсальний спосіб нанесення покриттів на поверхні деталей, що мають різну конфігурацію. Він являє собою процес нанесення покриття за допомогою високотемпературного швидкісного струменя, що містить частинки порошку або краплі розплавленого напилюваного матеріалу, що осідають на основному металі при ударному зіткненні з його поверхнею.

Залежно від джерела теплової енергії газотермічне напилювання розділяється на газополуменеве, плазмове, детонаційне, дугове, високочастотне і електроімпульсне.

Параметри окремих способів газотермічного напилювання наведено у табл. 3.13.

Таблиця 3.13 – Режими способів газотермічного напилювання

Спосіб напилювання	Максимальна температура джерела теплоти, °С	Швидкість падіння частинок, що наносяться, м/с	Час польоту частинок від пістоleta до поверхні, °С	Застосовувана форма напилюваного матеріалу	
				прутки або дрiт	порошки
Газополуменеве	3100	80	0,0025	70	30
Плазмове	40·10 <sup>3</sup>	100	0,0012	5	95
Детонаційне	3100	300	0,0007	0	100
Дугове	4000	90	0,0028	100	0

Сутність процесів газополуменевого напилювання полягає в розпиленні присадного матеріалу в полум'ї горючих газів у суміші з киснем і нанесенні його на попередньо підготовлену поверхню. У

більшості випадків як паливний газ використовують ацетилен (можна застосовувати пропан і водень).

Роль присадного матеріалу виконують дрід, прутки (тичинки) та порошкоподібні матеріали (рис. 3.33).

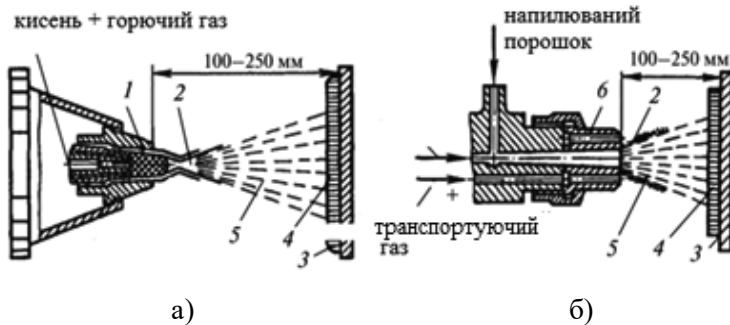


Рис. 3.33 – Схема дрогоного (а) і порошкового (б) газополуменевого напилювання: 1 – дрід; 2 – газове полум'я; 3 – відновлена поверхня; 4 – напилюваний шар; 5 – дисперговані частинки матеріалу в повітряному потоці; 6 – сопло

На рис. 3.33, а показано принцип дрогоного (або пруткового) газополуменевого напилювання. Напилюваний матеріал у вигляді дроту або прутка подається через центральний отвір пальника і розплавляється в полум'ї. Діаметр дроту, що напилюється, здебільшого не перевищує 3 мм.

На рис. 3.33, б показано принцип газополуменевого напилювання порошкового матеріалу. Порошок, що напилюється, надходить у зону плавлення за двома основними варіантами: зверху з бункера через отвір розганяється потоком транспортуючого газу (суміш кисень–горючий газ) і на виході з сопла потрапляє в полум'я, де відбувається його нагрівання.

Застосовуються такі варіанти нанесення покриттів.

1. Напилювання без подальшого оплавлення - "холодна" технологія. Виготовляється у два етапи: напилювання підшару та напилювання основного матеріалу. Деталь при цьому нагрівається не вище 200°C.

2. Газопорошкове наплавлення, тобто, напилювання з одночасним або з подальшим оплавленням – «гаряча» технологія.

Оплавлення слід проводити відразу після напилювання. Ділянку, покриту порошком, нагрівають до повного розплавлення всіх зерен металу в напиленому шарі і одержують блискучу поверхню.

Щоб покриття мали задані властивості, а також для використання різних технологій розроблено конструкції порошкових апаратів.

Технологічний процес відновлення деталей напилюванням включає наступні основні операції: підготовку напилюваної поверхні деталі, підготовку порошкових матеріалів, напилювання покриття, контроль його якості, механічну обробку напиленого шару.

Деталі, що підлягають відновленню, очищають від бруду, оливних та смолистих відкладень. При нерівномірному спрацюванні їх механічно обробляють, щоб надати поверхні правильну геометричну форму, промивають і знежирюють в органічному розчиннику з подальшим прополіскуванням в синтетичному мийному засобі. До кінцевих операцій підготовки відновлюваної поверхні відносяться; нарізання "рваної" нарізи, тобто надання поверхні більшої шорсткості, струминна обробка поверхні корундом та комбінована обробка.

Струминну обробку поверхні виконують у струминних камерах різних моделей (наприклад, 026.7.00.000), в яких як абразив застосовують порошок електрокорунду.

Ділянки деталей, які не підлягають напилюванню і прилягають до поверхні, що відновлюється, необхідно захищати кожухами або спеціальними екранами.

**Плазмове напилювання** – це процес нанесення покриття, при якому для розплавлення та перенесення матеріалу на поверхню деталі використовуються теплові та динамічні властивості плазмового струменя.

Вихідний матеріал покриття, в якості якого найчастіше застосовують порошок з розміром частинок 20...150 мкм, при плазмовому напилюванні подається в плазмотрон у вигляді порошку, дроту, прутка або гнучкого шнура. Транспортуючий газ – азот або аргон.

Переваги плазмового способу напилювання: широкий вибір матеріалів (тугоплавкі метали, карбіди, бориди, нітриди, графіт, оксиди, пластмаси та ін.); плазма добре регулюється в процесі нанесення покриттів, що дає можливість швидкого переналадження

на різні технологічні режими; при плазмовому напилюванні деталь менше нагрівається, тому неістотно змінюється структура і спостерігаються невеликі температурні деформації; менше окислення поверхні деталі; плазмові покриття мають високу щільність і міцність зчеплення з основним металом.

Недоліки методу: при нанесенні покриттів на невеликі деталі зростають втрати матеріалу, що напилюється, невисокий коефіцієнт корисного використання енергії плазмового струменя на розігрів порошку, утворюються шкідливі для здоров'я летючі сполуки, підвищений шум і світлове випромінювання.

Застосовують зносостійкі порошкові сплави на основі нікелю або більш дешеві сплави на основі заліза з високим вмістом вуглецю, що мають високі експлуатаційні та технологічні властивості.

Порошкові сплави на основі нікелю мають низьку температуру плавлення (950...1050°C), регульовану твердість (35-60 HRC), рідкоплинність, високу зносостійкість і властивості самофлюсування. Головний недолік порошкових сплавів на основі нікелю – висока вартість.

Порошкові сплави на основі заліза з високим вмістом вуглецю мають низьку вартість, високу зносостійкість, але більш тугоплавкі (температура плавлення 1250...1300 °C) і не мають властивості самофлюсування.

На практиці застосовують композиційні суміші (серії ПС) порошкових сплавів на основі заліза з порошками на основі нікелю.

За допомогою плазми можливе напилювання керамічних покриттів, які можна застосовувати для теплового захисту днища поршнів або головок блоків двигунів циліндрів. Найчастіше для цього використовується оксид алюмінію марок ГА85 або ГА8 і двооксид цирконію марки ПЦП-90.

При цьому попередньо на деталь напилюється підшар.

Сутність процесу **детонаційного напилювання** є такою. Якщо суміш газів і порошок, що напилюється, підвести в камеру згоряння детонаційної установки (гармати) (рис. 3.34) і підпалити з одного боку електричною іскрою, фронт полум'я буде поширюватися вздовж ствола гармати зі зростаючою швидкістю доти, поки в газі не виникне детонаційна хвиля з швидкістю поширення 2...4 км/с. В результаті детонаційного горіння газової суміші порошок, що напилюється, з високою швидкістю наноситься у вигляді покриття на

відновлювану деталь, розташовану на шляху потоку газів і порошку. Великі швидкості частинок, що напилуються, дозволяють отримати виключно якісні покриття, що мають високу щільність і зчеплюваність з основним металом, великий опір зносу, корозії, ерозії, хімічному впливу і окисленню при значних температурах.

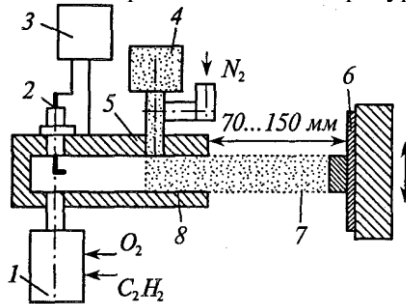


Рис. 3.34 – Схема установки для нанесення детонаційного покриття:

- 1 – газопровід; 2 – електрична свічка; 3 – джерело струму;
- 4 – порошковий дозатор; 5 – трубка-створ; 6 – підкладка; 7 – покриття;
- 8 – порошок

Плазмоутворюючими газами можуть бути аргон, азот, водень, гелій. Вибір газу залежить від технічної характеристики установки, складу та дисперсності порошку. Процес відрегульований таким чином, що точно повторюється з частотою 3-4 цикли на секунду. За один цикл напилювання одержують покриття завтовшки близько 6 мкм.

Водночас детонаційне напилювання має недоліки, пов'язані, зокрема, з можливістю нанесення покриття тільки на ті матеріали, в яких не виникає залишкова деформація при дії вибухової хвилі. Через великий шум (до 140 дБ) обладнання для детонаційного напилювання встановлюють в камері з подвійними стінами і спостерігають за процесом через оглядове вікно. До недоліків цього способу відноситься також висока вартість обладнання.

Устаткування для детонаційного напилювання являє собою складний технічний комплекс, що містить детонаційний пристрій, поміщений у звукоізоляційний бокс, газорозподільний щит та дистанційний пульт керування.

Принцип **дугового напилювання** полягає в розплавленні вихідного матеріалу (дроту) і нанесенні його стисненим повітрям на



поверхню виробу. При цьому два дроти, що підводяться, розплавляються електричною дугою. Збудження дуги обумовлено появою високої температури в точці зіткнення дротів, що подаються, внаслідок високого опору в зоні їх контакту. Струмінь стисненого повітря витягує дугу і тим самим перешкоджає приварюванню дротів між собою. Розплавлений метал у зоні дуги відривається і розпорошується тим самим стисненим повітрям. Розмір частинок розплавленого металу коливається у межах 10...50 мкм.

Процес напилювання по суті холодний, деталь, що покривається, нагрівається неістотно (до 50...70 °С). Тому, в металевих деталях не виникають внутрішні напруження, вони не деформуються і не змінюється структура металу. Переваги способу: висока продуктивність нанесення покриттів (до 21 кг/год.); отримання покриттів завтовшки кілька міліметрів; висока зносостійкість відновлюваних поверхонь (в 1,5-2 рази вище зносостійкості нової деталі); простота та технологічність процесу; можливість нанесення покриття на поверхню деталей, виготовлених з різних матеріалів. Крім того, покриття, нанесені способом дугового напилювання, мають високу маслоємність, утримуючи оливу в поверхневих мікропорах.

Дугове напилювання застосовується як антикорозійний захист алюмінієм та цинком труб, цистерн і металоконструкцій тваринницьких комплексів, ферм, кормопідготовчих цехів, птахофабрик та агрохімічного обладнання.

До недоліків дугового напилювання відноситься небезпека перегріву і окислення напилюваного матеріалу при малих швидкостях подачі дроту, що розпилюється. Крім того, велика кількість теплоти, що виділяється при горінні дуги, призводить до значного вигорання легуючих елементів, що входять в напилюваний сплав (наприклад, вміст вуглецю в матеріалі покриття знижується на 40...60% а кремнію та марганцю – на 10...15%).

**Електроімпульсне напилювання** покриттів ґрунтується на явищі вибухового розплавлення металу у формі дроту внаслідок імпульсного розряду конденсатора та осадження дрібних розплавлених частинок на поверхню деталі (рис. 3.35).

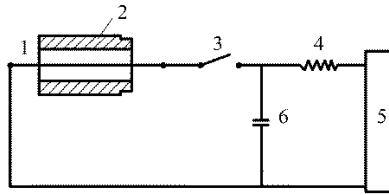


Рис. 3.35 – Схема електроімпульсного напилювання: 1 – матеріал, що напилюється; 2 – деталь; 3 – перемикач; 4 – резистор; 5 – джерело енергії; 6 – конденсатор

Швидкість падіння частинок на поверхню деталі 600...900 м/с. Рух частинок до основного матеріалу відбувається за рахунок різкого розширення газу під час вибуху та витіснення повітря із зони вибуху, що майже повністю виключає окислення частинок, а отже, забезпечує отримання щільного покриття з високою міцністю зчеплення з основним матеріалом. Недолік електроімпульсного напилювання полягає в тому, що його застосування обмежене електропровідними матеріалами та вузькою номенклатурою деталей. Крім того, цей спосіб непридатний для отримання покриттів великої товщини.

Слід зазначити, що газотермічне напилювання – один із найпоширеніших методів нанесення покриттів також за кордоном.

### 3.5 Електрохімічна та електрофізична обробка

**Електрохімічною** називається обробка, що полягає у зміні форми, розмірів та (або) шорсткості поверхні деталі внаслідок розчинення її матеріалу в електроліті під дією електричного струму.

**Електрофізичною** називається обробка, що полягає у зміні форми, розмірів та (або) шорсткості поверхні деталі із застосуванням електричних розрядів, магнітострикційного ефекту, електронного або оптичного випромінювання, а також плазмового струменя.

Принципову схему електрохімічного шліфування циліндричних деталей зображено на рис. 3.36. Струмopровідний круг 3 за допомогою ковзного контакту 2 з'єднується з негативним полюсом джерела постійного струму 1, а оброблювану деталь 5 – з позитивним полюсом. У зону обробки подають електроліт 4. Електрохімічні режими контролюють амперметром А та вольтметром V.

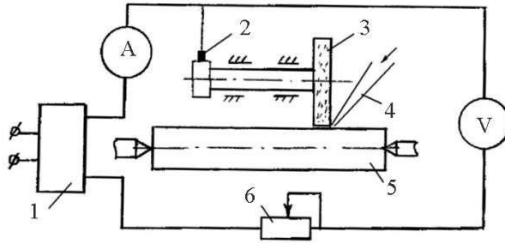


Рис. 3.36 – Схема електрохімічного шліфування: 1 – випрямляч; 2 – ковзний контакт; 3 – струмопровідний круг; 4 – електроліт; 5 – оброблювана деталь; 6 – реостат

Абразивні або алмазні зерна, виступаючи з електропровідної зв'язки, створюють зазор між зв'язкою і поверхнею оброблюваної деталі, в який подають електроліт. Під дією електричного струму відбувається анодне розчинення поверхні деталі та зерна обертового круга видаляють продукти розчинення.

Як різальний інструмент застосовують абразивні та алмазні круги на струмопровідних зв'язках типу М1, М5, СЭШ-1, СЭШ-2, основні компоненти яких – мідь, цинк, алюміній.

Як робоче середовище використовують струмопровідні розчини електролітів, що забезпечують необхідні точність і продуктивність і не викликають корозій незахищених частин обладнання. Цим умовам відповідають розчини нейтральних солей з різними добавками інгібіторів для надання їм антикорозійних властивостей.

Позитивні результати дає застосування електроліту, що містить 2...3%  $NaNO_3$  і 0,2...0,3%  $NaNO_2$ . Присутній у цьому електроліті нітрат натрію діє одночасно як антикорозійна добавка. Обробку проводять при коловій швидкості круга 20...25 м/хв. та швидкості деталі 5...6 м/хв.

Ефективність процесу шліфування залежить від щільності струму, питомого тиску круга та складу електроліту.

Рекомендовані режими різних видів обробки твердих покриттів електрохімічним шліфуванням наведені в табл. 3.14.

Таблиця 3.14 – Режими способів газотермічного напилювання

Вид шліфування	Напруга, В	Щільність струму, А/дм <sup>2</sup>	Тиск, кола, МПа	Швидкість знімання металу, мм <sup>3</sup> /хв	Витрати електроліту, л/хв
Попереднє	10-12	150-200	1,2-1,5	800-1200	2,0-2,5
Остаточне	6-8	90-120	0,4-0,6	200-300	2,0-2,5

Для чорнового шліфування великих деталей, наприклад, шийок колінчастих валів автотракторних двигунів, відновлених наплавленням тврдосплавних матеріалів, розроблений спосіб електроконтактного шліфування чавунним кругом. В якості робочої рідини застосовується 5% розчин емульсолу у воді. Встановлено такі оптимальні значення основних параметрів процесу: напруга джерела постійного струму 25 В, сила струму 600...1500 А, пряма полярність, швидкість обертання інструменту (чавунного диска) 40...50 м/с, швидкість деталі – 0,30...0,60 м/с. За дотримання зазначених режимів інтенсивність зняття припуску досягає 0,23...0,60 см<sup>3</sup>/с, а зона термічного впливу не перевищує 0,1 мм.

### 3.6 Електричні способи обробки деталей

Для обробки високотвердих поверхонь, які загартовані, мають наклеп і одностороннє зношування та наплавлені (нарощені) легованими або тврдосплавними присадними металами, доцільно використовувати електричні (електрофізичні і електрохімічні) способи замість механічних. В деяких випадках можлива обробка поверхонь деталей тільки електричними способами. Наприклад, після нанесення твердих сплавів, які збільшують строк і надійність роботи деталі за рахунок підвищеної зносостійкості їх поверхонь. Обробляти такі поверхні тврдосплавними і алмазними різцями практично неможливо через дуже високу твердість і гребінчатість нанесеного (напавленого) шару металу.

**Електроіскрова обробка** ґрунтується на явищі місцевого руйнування електроерозією металів великою кількістю електричних іскрових розрядів, що посилаються джерелом електричного струму. Іскрові розряди (потік електронів) рухаються з величезною швидкістю, миттю нагрівають частину поверхні аноду – деталі до температури 10000...15000 °С; частина металу переходить в

газоподібний стан, утворюється вибух. Від вибуху частинки розплавленого металу аноду-деталі викидаються в міжелектродний рідинний простір (трансформаторна олива, гас), а інколи – й у газоподібне середовище, і розсіваються (осідають) в ньому не досявши поверхні катоду – інструменту.

Для створення імпульсів із заданими характеристиками (напругою і силою електричного струму, постійним зазором між анодом-деталлю і катодом-інструментом та коливальним рухом для розмикання і замикання електричної мережі, щоб отримати іскровий розряд) застосовують конденсаторні й безконденсаторні верстати, а також переносні установки типу ЭФИ-10, ЭФИ-25 схеми яких показані на рис. 3.37.

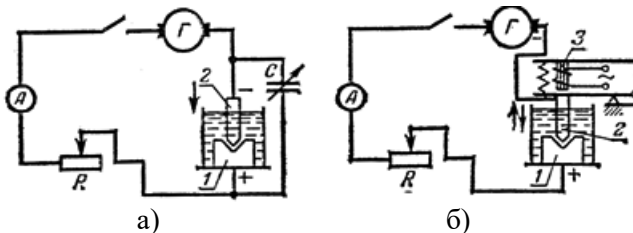


Рис. 3.37 – Принципові електричні схеми електроіскрових установок:

- 1 – деталь; 2 – інструмент; 3 – електромагнітний вібратор;
- а – конденсаторна схема ; б – безконденсаторна схема

Інструмент – катод виготовляють із мідно-графітної маси, міді, графіту відповідного профілю.

Електроіскрова обробка визначається в основному силою струму, яка залежить від прийнятого режиму обробки: при грубій обробці – більше 10 А, при середній (шорсткість 3...4 класу) – 1...10 А і при чистовій (шорсткість 8...10 класу) – менше 1 А. Зі зменшенням сили струму продуктивність обробки зменшується, якість поверхні покращується. У конденсаторних установках напруга в момент розрядки конденсаторів становить 100...250 В.

Електроіскрову обробку застосовують для обробки деталей дуже високої твердості (нарощеного шару твердого сплаву Т15К6, ВК-3 та ін.), а також для видалення із деталей поламаних частин свердел, мітчиків, болтів, шпильок тощо. Для цього електрод-інструмент (катод), виготовлений з міді (графіту) поступово занурюється в оброблювальну деталь і утворює в деталі заглиблення (отвір) по профілю електрода-інструменту.

**Електроімпульсна обробка** схожа на електроіскрову, але відрізняється великою тривалістю розрядів – збільшується в 3...5 разів за рахунок використання конденсатора великої ємності і струму підвищеної частоти – до 100 Гц, який одержують від спеціального генератора чи машин перетворювачів. Цим способом можна обробляти великі поверхні робочих органів сільськогосподарських машин, шийок масивних валів. Він продуктивніший у 2...3 рази, ніж електроіскрова обробка.

**Електромеханічна обробка (ЕМО)** – цей спосіб обробки ґрунтується на поверхневому пластичному деформуванні при локальному нагріванні деталі електричним струмом (рис. 3.38).

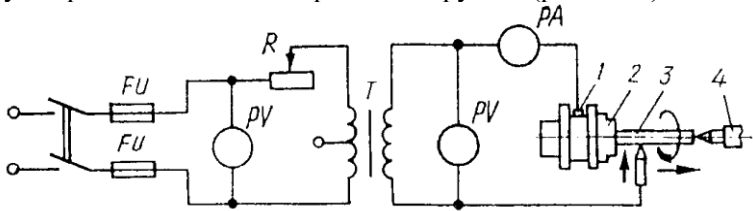


Рис. 3.38 – Принципова схема ЕМО: 1 – струмознімна щітка; 2 – патрон; 3 – деталь; 4 – задня бабка

Деталь – вал закріплюють у патроні і задньому центрі токарно-гвинторізного верстату, а у різцетримач супорта – пружинну державку з твёрдосплавною пластиною (Т15К6). До деталі і державки через зварювальний трансформатор підводять струм силою 450...550 А і напругою 2...6 В. В місці контакту пластини з деталлю поверхневий шар металу нагрівається до температури 800...1200 °С. Пластина-різець  $I$  з кутом профілю 60...70° вдавлюється в деталь 2 силою 900...1200 Н (для загартованих сталей, а незагартованих – 700...800 Н), яка обертається з швидкістю 3...5 м/хв., видавлює метал, утворюючи гвинтову канавку. При цьому початковий діаметр  $D_2$  збільшується до діаметра  $D_1$ . Подача пластини 1,5...2,5 мм/об., кількість проходів від 1 до 3. Потрібний діаметр  $D_0$  отримують за допомогою згладжувальної пластини 3 (рис. 3.39).

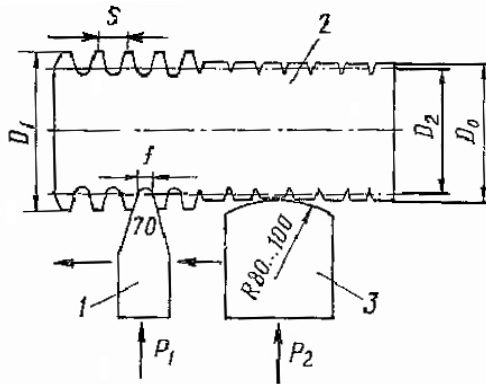


Рис. 3.39 – Схема відновлення вала на токарному верстаті електромеханічною обробкою: 1 – висаджувальна пластина; 2 – деталь; 3 – згладжувальна пластина

Режими згладжування: обертова швидкість деталі – 10... 12 м/хв, подача згладжувальної пластини – 0,3...0,4 мм/об, сила струму – 400...450 А, сила тиску згладжувальної пластини на деталь – 300...400 Н, кількість проходів 2...3.

Електромеханічною обробкою можна збільшити діаметр вала до 0,4 мм. При збільшенні діаметра більш, як на 0,25 мм, рекомендується гвинтові канавки заповнювати сумішшю чавунної стружки з епоксидним клеєм, або намотати дріт відповідної марки (марганцевої сталі) і діаметра та прикатати його згладжувальною пластинною (роликком).

У даному випадку, після згладжування шорсткість обробленої поверхні буде в границях 0,08...0,16 мкм, а стійкість проти зношування підвищується на 30...40% за рахунок короткочасного нагріву і швидкого відводу теплоти відбувається поверхневе загартування металу деталі на глибину 0,1...0,2 мм.

ЕМО відновлюють у першу чергу посадочні шийки валів для нерухомих спряжень, але при заповненні гвинтових канавок сумішшю графіта з епоксидним клеєм можна відновлювати шийки валів для рухомих посадок після їх шліфування в розмір.

**Відновлення та зміцнення деталей машин методом електроіскрової обробки (ЕІО).**

Сутність методу ЕІО полягає в тому, що крапельки електрода відокремлюються й швидко кристалізуються, сплавляючись з металом

поверхневого шару деталі. Метал, що переноситься з аноду імпульсом електричного струму, легує поверхневий шар деталі (катода) з формуванням високотвердих включень - нітридів, карбонітридів, цементиту й гартівних структур матриці.

Процес є одним з видів універсальних зміцнюючих технологій. У нинішній час спосіб розвивається у двох напрямках: електроіскрова (електроерозійна) розмірна обробка – ЕІРО (у рідкій ванні) і електроіскрове легування – ЕІЛ.

Термін «електроіскрове легування» не зовсім точно і повно відображає суть розглянутого процесу, але він широко використовується у вітчизняній літературі й технічних описах. Хоча багато авторів по-різному називають цей процес, і йдуть суперечки про те, як найбільш правильно відобразити його сутність. Більш прийнятною назвою цього процесу було б – «електроерозійне формування поверхневих шарів».

У період електроіскрового розряду через електроди проходить потужний ( $10^5$ – $10^6$  А/мм<sup>2</sup>) імпульс струму. Температура в міжелектродному зазорі досягає 10000–15000<sup>0</sup>С. Присутність у зоні високих температур, азоту повітря й різних легуючих елементів, що входять до складу електрода-анода, дозволяє не тільки нарощувати, але й легувати шар, поліпшуючи фізико-механічні та експлуатаційні властивості поверхні деталі. Тому, формування покриття металу методом електроіскрової обробки часто називають методом електроіскрового легування (ЕІЛ).

Особливістю структур, отриманих при електроіскровій обробці (ЕІО) є те, що вони формуються в умовах надшвидкісного охолодження. При цьому здійснюється перенесення металу з аноду (електрод) на катод (деталь). Швидкість кристалізації досягає  $10^5$ - $10^6$  К/с. Така висока швидкість забезпечує формування дисперсного зерна (близько  $4 \times 10^{-2}$  мкм і менше). При традиційних високошвидкісних методах затвердіння його величина становить – 0,1-10 мкм. Відомо, що зі зменшенням розміру зерна істотно зростає твердість, міцність і пластичність матеріалу.

Оскільки процес супроводжується різноманітними фізико-хімічними перетвореннями, ефект одержуваний від його застосування залежить від багатьох факторів: електричних параметрів режиму обробки; кінематичних параметрів обладнання; матеріалів аноду та катода; навколишнього середовища.

Дослідженнями фахівців показано, що електроіскровим методом можна сформувати покриття будь-якими струмопровідними матеріалами.



Процес електроіскрової обробки крім ряду переваг перед іншими методами одержання покриттів має й недоліки. До них належать: мала товщина нанесених покриттів (0,2-1,0 мм); низька продуктивність процесу; складність одержання мікрорельєфу заданої шорсткості. Для збільшення продуктивності процесу доцільно використовувати одночасно кілька електрод-інструментів.

Що стосується формованої шорсткості – її величина не має особливого значення у випадку використання обкатування або інших методів поверхнево-пластичної деформації (ППД). Спільне використання методів ЕЮ і ППД зміцнює поверхневий шар деталі, зменшує його пористість, знижує рівень розтягуючих напружень, а в ряді випадків забезпечує формування – стискаючих.

Установки для електроіскрової обробки деталей поділяються на ручні і механізовані.

Поряд із застосуванням традиційних електроіскрових технологій при зміцнюючій обробці багатьох деталей і інструментів і відновленні розмірів зношених деталей ЕЮ сьогодні розвивається також в таких напрямках, як застосування нових електродних матеріалів; нанесення багатошарових покриттів з використанням декількох, відмінних за складом і властивостями електродних матеріалів; нанесення товстошарових (більше 1 мм при опорній поверхні більше 80%) покриттів; комбінованих покриттів (наприклад, ЕЮ + металополімер); суміщеної обробки (наприклад, ЕЮ + лазерна обробка).

Установка для ЕЮ являє собою комплекс, що складається з декількох генераторів (звичайно два генератори на один контур – один електрод), токарного верстата, на який встановлюється відновлювана деталь (рис. 3.40).

Обробна головка (рис. 3.41) призначена для комутування розрядного ланцюга вібруючим електродом. Вона включає два (три) електромеханічних вібратори, що працюють від одного двигуна. В якості вібратора використовується електромагнітна муфта із чотирма полюсами.

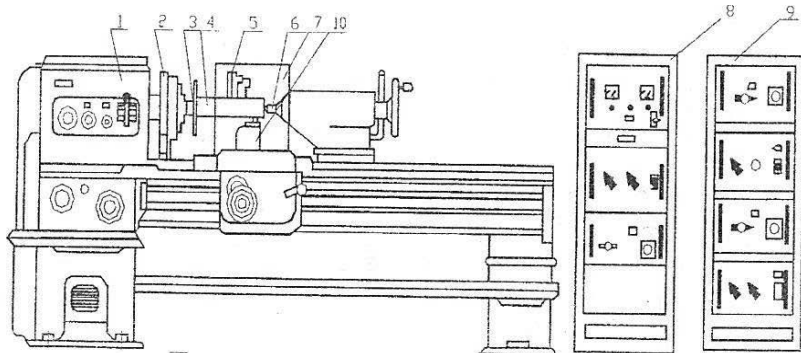


Рис. 3.40 – Схема установки «Елітрон-344»: 1 – токарний верстат; 2 – трикулачковий патрон з струмознімачем; 3 – оправка; 4 – оброблювана деталь; 5 – обробна головка; 6 – центр; 7 – екран; 8, 9 – генератори; 10 – обкатник

Обробна головка складається з підставки 8, на якій закріплені два кронштейни 7 і електродвигун. На кронштейні встановлено вал 6, на якому закріплені нерухомі напівмуфти електромагнітних муфт 5. Крім того, на валу в корпусі закріплені дві рухливі напівмуфти з котушками. На рухомих напівмуфтах встановлено вібратор з тримачем електродів 4, навантажувачі (грузи) 3 на пружинах 2, що регулюють механічний момент муфти і штуцера для подачі повітря від пневмережі, що забезпечує охолодження електродів, яке подається по трубі 1.

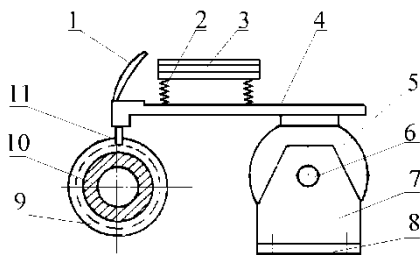


Рис. 3.41 – Обробна головка: 1 – трубка для охолодження електрода; 2 – пружина; 3 – навантажувачі; 4 – вібратор з тримачем; 5 – електромагнітні муфти; 6 – вал; 7 – кронштейн; 8 – підставка; 9 – оброблювана деталь; 10 – оправка; 11 – електрод

Принцип роботи головки такий:

– у вихідному положенні електрод під дією навантажувачів вільно опирається на оброблювану деталь, вал двигуна не обертається, напруга на котушки електромагнітних муфт не подається;

– механічний момент на муфті, регульований навантажувачами, вибирається таким, щоб він незначно перевищував момент, створюваний електромагнітною муфтою;

– при подачі напруги на електродвигун і котушки електромагнітних муфт починає обертатися вал і тримачі, що захоплюються електромагнітними муфтами, піднімають електроди нагору, відриваючи їх від оброблюваної деталі. Відірвавшись на відстань 1-2мм, електрод під дією вантажу повертається до упору на оброблювану деталь.

Напівмуфти, жорстко з'єднані, повертаються на  $90^{\circ}$ , захоплюють рухоми муфту, а потім все повторюється.

Електроіскрове нарощування металу являє собою сукупність короткочасних електричних дугових розрядів, одержуваних при обертанні деталі, що контактує з анодом (електродом).

При проведенні електроіскрового нарощування залежно від наявного обладнання, розмірів і форми відновлюваної поверхні деталі, застосовуються наступні види електродів:

- пучки з 100-150 дротів діаметром 0,5-0,8мм (для обробки внутрішніх поверхонь базисних деталей);

- пальцеві (прутки круглого або квадратного перетину з площею поперечного перерізу 20-60мм<sup>2</sup>, при проведенні нарощування їх загострюють);

- дискові (діаметром до 250мм, товщиною 0,5-3,0мм, виготовлених з листової сталі) електроди для обробки зовнішніх поверхонь деталей типу тіл обертання.

Електроди, виготовлені у вигляді пучка дротів або брусків, найчастіше використовують для нарощування внутрішніх посадкових поверхонь великогабаритних базисних деталей – коробок передач, ведучих мостів, редукторів. При нарощуванні частота обертання електроду становить 5-10 с<sup>-1</sup> (здійснюють використанням електродріля). Електроди, виготовлені у вигляді диска доцільно застосовувати для обробки тіл обертання або плоских поверхонь.

Враховуючи те, що з погляду суцільності покриття використання трьох і чотирьох проходів електроду мало відрізняється, а продуктивність процесу нанесення покриття при цьому знижується на 25%, варто визнати доцільним використання для обробки не більше

трьох проходів електродним інструментом.

При виборі коефіцієнта суцільності покриття враховуються не тільки час обробки, витрати електроенергії, ефективність використання обладнання, але також і технічні вимоги на капітальний ремонт деталі. Застосування відомого обладнання для ЕІО і режимів, що вище розраховуються, повинно забезпечити продуктивність процесу не нижче  $30\text{см}^2/\text{хв}$ , у той час як реально вона становить  $2,5 - 3,5\text{см}^2/\text{хв}$ .

Настільки велика розбіжність між продуктивністю, одержаною розрахунковим шляхом і одержуваною експериментально можна пояснити тільки недосконалістю конструкцій існуючих електродотримачів устаткування. Продуктивність процесу близьку до розрахункової можна одержати тільки в тому випадку, якщо ширина електроду буде близька до діаметра одичної лунки протягом усього періоду обробки та швидкість переміщення оброблюваної поверхні буде дорівнювати швидкості переміщення електроду в момент проходження іскрового розряду. У той же час застосування електродів з невеликою площею поперечного перерізу не дозволяє використовувати великі струми через їхній швидкий перегрів. Тому, форма електроду повинна мати мінімальну довжину контакту з оброблюваною деталлю та швидко відводити тепло в навколишній простір. Таким вимогам добре відповідає дисковий електрод із шириною диска не більше 1-2мм. Конструкція електродотримача надано на рис. 3.42.

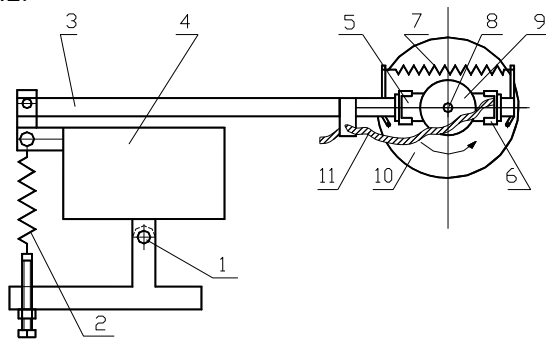


Рис. 3.42 – Конструкція електродотримача, що забезпечує підвищення продуктивності процесу ЕІО: 1 – вісь кочення корпусу електродотримача; 2, 7 – пружина; 3 – корпус вібратора; 4 – електромагніт вібратора; 5 – струмопідвідні щітки; 6 – щіткотримачі; 8 – вісь обертання електроду; 9 – колектор; 10 – дисковий електрод; 11 – струмопровід

Умова рівності швидкостей електрода і деталі забезпечується шляхом безпосереднього контакту їх і при цьому електрод має можливість вільного обертання.

Електроди у формі диска дозволяють одержувати рівномірне покриття з високим ступенем суцільності.

Дискові електроди повинні задовольняти таким вимогам:

– товщина електродів не більше 3,0мм;

– наявність великої полярності і відсутність різнотовщинності по перетину диска.

Задовольнити цим вимогам простіше всього при використанні тонколистового прокату; менш придатні диски, отримані методом пресування з порошкових композицій.

### **3.7 Відновлення деталей пластичним деформуванням**

**Загальні відомості.** Способи відновлення деталей пластичним деформуванням ґрунтуються на використанні пластичних властивостей металів змінювати під дією зовнішніх сил форму і розміри, не порушуючи цілності.

Крім того, в ремонтному виробництві пластичну деформацію використовують для зміцнення робочих поверхонь (твердості) і зниження шорсткості поверхні, не застосовуючи термічну і механічну обробку.

В процесі деформування відбувається міжкристалічне зрушення зерен металу по площадках ковзання, при цьому зерна деформуються, ущільнюється структура. Від цього при холодному деформуванні підвищується поверхнева твердість і границя плинності металу, але в'язкість і пластичність знижується на 10...15%.

При гарячому деформуванні відбувається рекристалізація – збільшується кристалізація, зменшується твердість і міцність металу. Тому, після гарячої деформації деталь піддають термічній обробці.

Можливість застосування пластичного деформування для відновлення деталей визначається наявністю запасу металу і міцності деталі. Для компенсації невеликих зносів – 0,1...0,2 мм застосовують холодне деформування – переміщують метал з незношеної зони деталі на зношену. Холодній деформації підлягають деталі з маловуглецевих сталей, кольорових металів і сплавів.

При необхідності значних деформацій деталі із середньо – і високовуглецевої або легованої сталі відновлюють у гарячому стані. Температура гарячої деформації вуглецевих і легуваних сталей на

150...200 °С нижча за температуру початку їх плавлення і знаходяться в межах 300...1250 °С, бронзи – 700...850 °С.

При ремонті деталей пластичним деформуванням, в залежності від напрямку дії зовнішніх сил, застосовують різні способи (див. рис. 3.43).

Правка виконується у холодному або гарячому стані деталі для відновлення початкової форми. Більшість деталей правлять комбінованими (поєднаними) способами: слюсарними і ковальсько-пресово-термічними.

Зусилля для правки валів розраховують з залежності, Н:

$$P = \frac{3fEl}{a^2b^2}, \quad (3.2)$$

де  $f$  – прогин вала при правці приймають в 8-10 раз більший, ніж до правки (фактичний), мм;

$E$  – модуль пружності, Н/мм<sup>2</sup>;

$i$  – осьовий момент інерції, мм<sup>4</sup>;

$l$  – довжина вала, мм;

$a$  і  $b$  – відстань від місця прикладання зусилля до опор, мм.

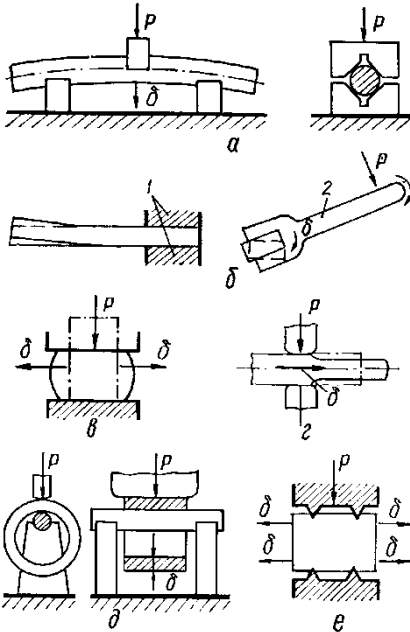


Рис. 3.43 – Схема операцій відновлення деталей пластичним деформуванням:  
 а – правка гнуттям;  
 б – правка розкручуванням;  
 в – осадження; г – витяжка;  
 д – роздавання на оправці;  
 е – вдавлювання фасонних штампів;  
 1 – лещата;  
 2 – захват

Навантаження прикладають до деталі декілька раз протягом 2...3 хв для збільшення точності правки і зменшення наявності залишкових внутрішніх напружень, які під час роботи вала можуть підсилюватись з робочими напруженнями, що може призвести до появи повторних деформацій. Для зняття внутрішніх напружень, що виникають після холодного випрямлення, сталеві деталі піддають спеціальній термічній обробці (стабілізації), яка залежить від попередньої термічної обробки. Якщо попередня термічна обробка проводилася при температурі більше 500 °С, то стабілізація полягає у нагріванні до 400...450 °С протягом 30...50 хв., а також в охолодженні на повітрі.

Якщо ж остання термічна обробка була при температурі нижче 500 °С, то стабілізацію проводять при температурі 200...250 °С з витримкою до 3 годин і охолодженням на повітрі.

Правка деталей наклепом ґрунтується на дії залишкових внутрішніх напружень стиску, які виникають у поверхневому шарі металу деталі і усувають вигин. Розміри ділянки для наклепу і його глибину визначають дослідним шляхом в залежності від ступеня прогину, форми і розміру деталі.

Для створення поверхневих напружень стиску на визначену поверхню деталі наносять велику кількість частих ударів, які утворюють стискні сили, направлені в той бік, звідки наносять удари, ці сили усувають прогин.

Наклеп створюють ручним або пневматичним молотком, після якого прямолинійна і складної форми деталь (колінчастий вал) виправляється і приймає попередню форму (рис. 3.44).

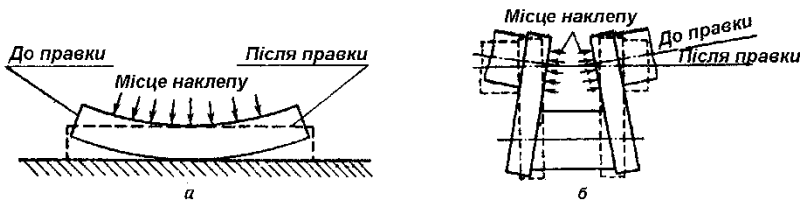


Рис. 3.44 – Схема правки наклепом: а – бруска; б – колінчастого вала

Для правки великих в перерізі і складних за формою деталей типу колінчастих валів, балок передніх мостів вантажних автомобілів

тощо, місця наклепування нагрівають до температури 250...300 °С газовим пальником або паяльною лампою.

**Осадка** – це зменшення висоти суцільної деталі за рахунок збільшення площі її попереднього перерізу (зовнішнього діаметру), а також зменшення внутрішнього або збільшення зовнішнього діаметру порожнистої деталі за рахунок зменшення її довжини.

Осадка деталей відбувається в гарячому стані при температурі 800...900 °С нанесенням сильних ударів кувалдою або верхнім бойком пневматичного ковальського молота по деталі, встановленій на ковадлі або нижнім бойком молота перпендикулярно до її робочих поверхонь. Направлення дії сили не співпадає з направленням деформації деталі. Гарячою осадкою відновлюють вилки карданних валів, штовхачі клапанів і головки клапанів двигуна тощо.

Для збільшення діаметру деталі не на всій довжині, а тільки середньої або кінцевої її частини здійснюють неповну осадку, яку називають висадкою. В цьому випадку нагрівають тільки осаджувану частину. Висадкою відновлюють кінцеві шийки валів, осі сільськогосподарських машин.

В холодному стані осадкою відновлюють бронзові втулки на пресах у пристрої (див. рис. 3.45).

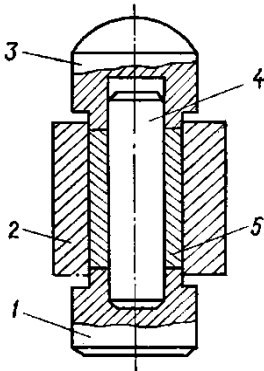


Рис. 3.45 – Пристрій для осадження втулки:  
1 – підставка; 2 – кільце;  
3 – обтискач; 4 – палець;  
5 – втулка

Тиск, необхідний для осадки, визначають за формулою, МПа:

$$P = \sigma_T \left( 1 + \frac{D}{6h} \right)$$

де  $\sigma_T$  – границя плинності металу деталі, МПа;

$D$  – зовнішній діаметр деталі, мм;

$h$  – висота деталі, мм.



*Витяжка* – це збільшення довжини деталі за рахунок місцевого звуження поперечного перерізу на неробочих ділянках, звертаючи увагу на забезпечення конструктивної міцності, витяжку проводять при місцевому нагріві до температури 800...850 °С. Застосовують витяжку під час ремонту тяг, штанг, важелів, шатунів тощо. Різновидністю витяжки є відтяжка, яка застосовується при відновленні лемішів, лап культиваторів, зубців борін тощо.

*Роздача* – це одночасне збільшення зовнішнього і внутрішнього діаметрів порожнистої деталі за рахунок зменшення товщини її стінок, можлива роздача на оправці (рис. 3.46) або продавлювання конічних (сферичних) прошивок через отвір деталі. При роздачі напрямок тиску співпадає з напрямком деформації і визначається, МПа:

$$P = 1,1\sigma_T l \frac{R}{Z}, \quad (3.3)$$

де  $l$  – довжина деталі, мм;

$R$  і  $Z$  – зовнішній і внутрішній радіуси деталі, мм.

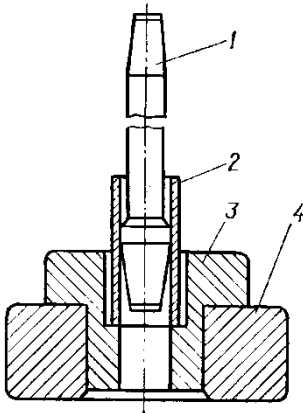


Рис. 3.46 – Пристрій для роздавання поршневих пальців: 1 – конусна оправка; 2 – поршневий палець; 3 – напрямна; 4 – підставка

В залежності від зношування і пластичних властивостей металу деталі роздають без нагрівання (при зношуванні до 0,2 мм) або з нагріванням. Якщо деталь загартована або цементована, то перед роздачею її відпалюють або проводять високий відпуск, потім гартують і відпускають до твердості, зазначеної в технічних умовах. Роздачею відновлюють поршневі пальці, бронзові втулки, посадочні поверхні під вальниці чашок диференціалів та т.ін.

*Обтискання* – це процес зменшення внутрішнього діаметра. Обтискання проводять під пресом в спеціальному пристосуванні в холодному або гарячому (800...820 °С) стані деталі (рис. 3.47). Деталь 2 за допомогою оправки 1 проштовхують через матрицю 3, встановлену на плиту

штампа 4. В цьому випадку зменшується (відновлюється) внутрішній діаметр  $d$  за рахунок зменшення зовнішнього  $D$ .

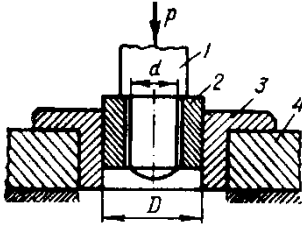


Рис. 3.47 – Пристрій для обтискання бронзових втулок

Обтискання застосовують для відновлення втулок із кольорових металів, корпусів гідронасосів, проушин під пальці ланок гусениць та ін.

*Вдавлювання фасонних штампів* – це одночасна осадка і роздача, тому що деформуюча сила  $P$  направлена під кутом до напрямку деформації  $\delta$ . Довжина деталі не змінюється.

Збільшення конструктивних елементів деталі (циліндрів, зубів, кульових пальців) проходить за рахунок витискання металу з неробочої частини. Витискають метал ролик (клиноподібним або шароподібним пуансоном), твердість робочої частини якого HRC 55...60 з зусиллям 20...25 кН в холодному стані, якщо твердість оброблюваної поверхні не перевищує HRC 20...30. При твердості відновлюваного конструктивного елементу деталі вище HRC 30 – деталь піддають високому відпуску – 600...650 °С, потім термічній і механічній обробці.

Вдавлюванням ремонтують зношені бокові поверхні шліців (рис. 3.48), зубці шестерень, кульові пальці, головки клапанів тощо, використовуючи для цього токарно-гвинторізні, стругальні, довбальні верстати і преси, при необхідності і спеціальні штампи.

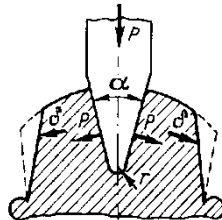


Рис. 3.48 – Пластичне деформування втисканням

*Накатка* – це пластичне витискання (підняття) металу з окремих ділянок робочих поверхонь (утворюються западини і

виступи-гребінці) для збільшення зовнішнього або зменшення внутрішнього діаметрів (рис. 3.49). В даному випадку робочим інструментом є оправка з зубчастим роликком, який виготовляють із шарикопідшипникової або швидкорізальної сталі P18, загартованим до HRC 57...63. Висота підняття металу на сторону не повинна бути більшою 0,2 мм, зменшення опорної поверхні допустиме до 50%. Щоб зменшити напруження в западинах і збільшити опорну поверхню, западини заповнюють епоксидним клеєм в складі якого є чавунна стружка – якщо деталі відновлюють для нерухомих спряжень.

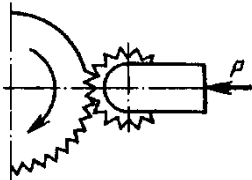


Рис. 3.49 – Пластичне деформування накаткою

Для рухомих спряжень – западини заповнюють бабітом або епоксидним клеєм, в якому наповнювачем є графіт.

Поверхні деталей з твердістю не більше HRC 25...30 накатують в холодному стані. При більшій твердості – деталь нагрівають до температури 840...860 °С, а потім накатують, гартують, механічним способом обробляють на верстаті в розмір до встановленої шорсткості.

Накатку проводять на токарно-гвинторізному верстаті, деталь встановлюють в патрон або центри, а оправку з зубчастим роликком – на супорт замість різця. Крок зубців ролика – 1,2...1,5 мм, кут загострення – 60...70 °С. Режим накатки: швидкість деталі – 10...15 м/хв, повздовжня подача – 0,4...0,6 мм/об, охолодження – машинна олива. Після механічної обробки гребінці в поперечному перерізі повинні мати форму трапеції, а не трикутник.

Накаткою відновлюють посадочні місця під вальниці на валах і в гніздах обертальних корпусних деталей, а також для відновлення вкладишів дизельних двигунів перед нанесенням антифрикційного сплаву або епоксидної суміші з графітним наповнювачем.

**Відновлення деталей поверхневим пластичним деформуванням.** При поверхневому пластичному деформуванні (ППД) створюється наклеп, тобто поверхнєве зміцнення металу (рис. 3.50). Зерна металу витягуються у напрямку деформації, кристалічні решітки викривляються, у результаті чого змінюється

структура і властивості поверхневого шару: знижується пластичність і ударна в'язкість, але створюються сприятливі стискаючі напруження, збільшується втомна міцність (на 30-70%); підвищується твердість і стійкість проти зношування (у 1,5-2 рази). При ППД зменшується висота мікронерівностей (0,04 мкм) і утворюється поверхня з новим мікропрофілем.

**Дробоструминна обробка** (рис. 3.50, а) застосовується для зміцнення ресор, пружин, валів, зубчастих коліс, зварювальних швів тощо.

Наклепаний шар глибиною 0,5-0,7 мм створюється завдяки дії кінетичної енергії потоку дробу, який летить зі швидкістю 30-90 м/с під кутом  $70^\circ$ . Для цього застосовують дробоструминні установки: пневматичні (у соплі повітря стиснуте до 0,5-0,6 МПа) і механічні (з відцентровим дробоструминним колесом).

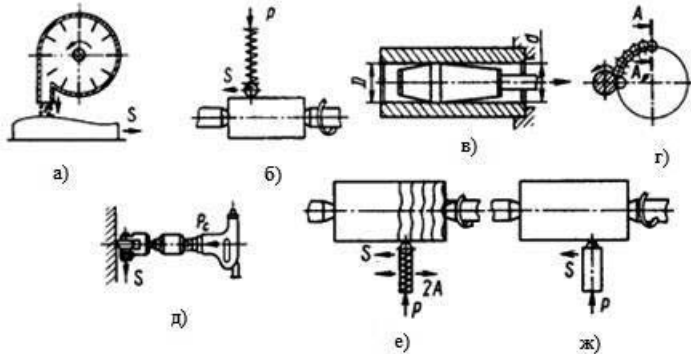


Рис. 3.50 – Схеми поверхневого пластичного деформування

Розмір і матеріал дробу вибирають залежно від розмірів обробки. Дріб виготовляють з вибіленого чавуну і сталевого пружинного дроту, які застосовують для обробки сталевих деталей. Для кольорових деталей використовують дріб з алюмінію.

**Обкатування і розвальцьовування кульками та роликами** (рис. 3.50, б) обробляють циліндричні поверхні, канавки, галтелі, площини, фасонні поверхні тощо. Особливістю процесу обробки кульками є відсутність у них примусової осі обертання та їх самовстановлення відносно оброблюваної поверхні, простота і універсальність пристроїв, можливість досягнення високих контактних тисків за порівняно невеликих зусиль, поліпшення шорсткості поверхні.

Накатування (розвальцювання) кульками і роликками виконують за допомогою спеціальних пристроїв (накаток або розвальцювок), які закріплюють у різцетримачі токарно-гвинторізного або іншого металорізального верстата. Тиск під час накатування (розвальцювання) може бути створений тарованою пружиною, а також за допомогою пневматичного або гідравлічного силового механізму. Ці способи ППД рекомендується проводити із застосуванням мастильно-охолоджувальних рідин (МОР) – оливи індустріальної або її суміші з 2-3% олеїною кислотою.

Зусилля обробки залежить від твердості, пластичності і структури металу, шорсткості поверхні, конструкції деталі та інструменту. Мале зусилля не забезпечує повного змінання мікронерівностей, а велике – призводить до перенапруження і руйнування поверхні, деформації деталі і зниження строку служби інструмента.

Зусилля обкатування (розвальцювання)  $P$  при деформації кульками визначають дослідним шляхом або за формулою:

$$P = \left( \frac{d \cdot q}{0,54E} \right)^2 q, \quad (3.4)$$

де  $d$  – діаметр ролика або кульки, мм;

$q$  – максимальний питомий тиск, МПа ( $q = (1,8-2,1) \sigma_T$ );

$E$  – модуль пружності оброблюваного матеріалу, МПа.

Поздовжня подача кульки дорівнює 0,1-0,3 мм/об, а ролика з циліндричним пояском – 0,2-0,6 мм/об.

Шорсткість поверхні залежить від кількості проходів інструменту і поліпшується із його збільшенням.

Обкатування (розгортання) дозволяє за один прохід помітно поліпшити шорсткість (від  $R_a=2,5-0,63$  мкм до  $R_a = 0,32-0,08$  мкм) і збільшити ступінь наклепу до 50%, а глибину – у межах 2-3 мм.

**Протягування** (рис. 3.50, в) – один із способів ППД для зміцнення і підвищення фізико-механічних властивостей отворів втулок (гідронасосів, турбокомпресорів, шатунів, шворнів тощо), кришок, стаканів (див. рис. 3.51). Воно зменшує шорсткість, підвищує твердість, зміцнює оброблену поверхню, створює у поверхневому шарі сприятливі напруження стиску та забезпечує отримання заданого розміру.

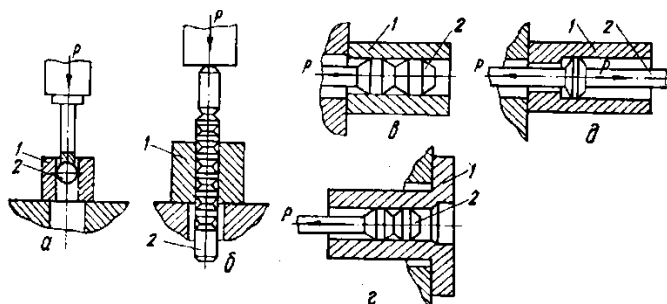


Рис. 3.51 – Схеми протягування отворів: а, б – прошовхуванням кульки й протягування на пресах; в, г – калібруванням зі стиском і розтяганням деталі на горизонтально-протяжному верстаті; д – калібруванням при зворотньо-поступальному ході протягування на спеціальних верстатах; 1 – деталь; 2 – інструмент

Припуск при протягуванні сталі – 0,03...0,05 мм, кольорових металів – 0,05...0,08 мм. Після ущільнення припуску протяжною зносостійкість поверхні збільшується до 30%, можливо отримати 7-8 квалітет на розмір отвору і шорсткість поверхні  $R_a=0,04$  мкм. Протягування виключає з технологічного процесу операції чистового розгортання і розточування, застосовується при ремонті отворів втулок верхньої головки шатуна, отворів втулок шворнів передніх мостів, вкладишів колінчастого вала тощо.

Суть процесу полягає у протягуванні кульки або дорну відносно поверхні отвору з натягом, внаслідок чого відбувається пластична деформація металу, яка призводить до зміни форми і розмірів отворів і зміцнення поверхневого шару. Основним технологічним параметром протягування є натяг:

$$i = d_i - D_o, \quad (3.5)$$

де  $d_i$ ,  $D_o$  – діаметри інструменту і отвору до протягування, а також відносний натяг  $i/D_o$ , зусилля і швидкість протягування, геометричні характеристики протяжки та товщина втулки.

За призначенням поверхневе протягування може бути згладжувальним, калібрувальним і зміцнювальним.

Існує два різновиди протягування отворів: з малим і великим натягом. Під час протягування з малим натягом зона пластичної деформації поширюється на незначну глибину. У цьому випадку шорсткість поверхні і похибка форми зменшуються на 25-35 %. Під

час протягування з великим натягом зона пластичного деформування охоплює всю деталь, як результат чого збільшуються діаметри отвору і зовнішньої поверхні за одночасного зменшення розміру деталі вздовж осі оброблюваного отвору.

При протягуванні застосовують оливу (для високоміцних сталей) або очищений гліцерин (чавунні деталі).

Протягування забезпечує високу якість оброблених поверхонь, ( $D_0 = 1,25-0,16\text{мкм}$ ), підвищує довговічність деталей в умовах знакозмінних навантажень.

Інструментом при протягуванні є оправки (одно- і багатоелементні, суцільні та складні) або кульки. Складні оправки виготовляють із твердого сплаву ВК8 або ВК15М, суцільні, із сталей ХВГ, ШХ15, 9ХС твердістю HRC 62-64. Протягування здійснюють на пресах, горизонтально- і вертикально-протягувальних верстатах.

**Відцентрово-ударна обробка** (рис. 3.42, г) здійснюється за рахунок кінетичної енергії сталевих кульок, розташованих на периферії обертання диска. При обертанні диска, під дією відцентрової сили кульки відкидаються до периферії обода, взаємодіють з оброблюваною поверхнею і відкидаються всередину гнізда. Обробка поверхонь інструментами відцентрово-ударної дії легко здійснюється на токарних, шліфувальних, стругальних і інших верстатах. Інструменти відцентрово-ударної дії використовуються як за розмірно-чистою, так і при зміцнюючій обробці. На шорсткість обробленої поверхні і на фізико-механічні властивості наклепаного шару великий вплив мають колова швидкість інструменту, колова швидкість деталі, величина натягу, поздовжня подача, кількість проходів, кількість деформуючих елементів в інструменті, діаметр кульки або ролика.

Колова швидкість є одним з важливих факторів, що впливають на шорсткість, ступінь і глибину наклепу і величину залишкових напружень. Зазвичай, колова швидкість приймається в межах 12-25 м/с, при цьому, обробка загартованих і твердих сталей проводиться з більшою коловою швидкістю, ніж обробка м'яких сталей і кольорових металів. Колова швидкість деталі приймається в межах 0,5-1,5 м/с, причому для досягнення поверхні з малою величиною шорсткості, слід встановлювати меншу колову швидкість деталі. Якісні характеристики обробленої поверхні залежать від натягу, з його збільшенням, зростає сила удару по виробу. Для різних умов обробки

натяг може коливатися в межах 0,05-0,3 мм. Поздовжня подача на оберт деталі приймається в діапазоні 0,02-0,2 мм/об.

**Карбування** (рис. 3.50, д) здійснюється шляхом ударної дії на оброблювану поверхню спеціальними бойками. В умовах ремонтного виробництва воно застосовується для зміцнення галтелей колінчастих валів, западин шліців, великогабаритних деталей і підвищення фізико-механічних властивостей зварювальних швів та наплавленого металу. Карбування, порівняно з накатуванням і відцентровою обробкою, забезпечує більшу глибину (до 3-4мм) і високий ступінь зміцнення. Після карбування шорсткість обробленої поверхні збільшується, що потребує додаткового шліфування.

Карбування виконують за допомогою сферичних, еліпсоїдних, або спеціальної форми бойків з високоміцної інструментальної сталі, або надтвердого матеріалу, які здійснюють зворотно-поступальний рух. Частота ударів знаходиться у межах 10-50Гц.

Діаметр робочої поверхні бойка  $D$  (діаметр сфери, що втискається) вибирають відповідно до заданої глибини зміцнення:

$$h / h_1 \leq D \leq 2,2h , \quad (3.6)$$

де  $h_1$  – глибина відбитку (лунки).

При цьому враховують ступінь деформування:  $\varepsilon = d/D$ , де  $d$  – діаметр відбитка. Необхідно, щоб  $0,7 \geq \varepsilon \geq 0,3$ .

Крім пристроїв, у яких підпружинений бойок переміщується кулачковим механізмом, для ударного карбування використовують вібраційні ексцентрикові зміцнювачі, а також багатобойкові пневмоінструменти.

Обробка багатобойковим пристроєм забезпечує глибину наклепаного шару до 3 мм і підвищує опір втомлюваності зварного з'єднання на 80%, а міцність зварного з'єднання після обробки визначається міцністю металу.

**Вібронакатування (вібровигладжування)** (рис. 3.50, е) поверхні сприяє скороченню тривалості припрацювання спряжених поверхонь, ефективності теплопередачі, скороченню трудомісткості виготовлення деталей підвищеної точності тощо.

Сутність вібронакатування полягає у тому, що, крім осьової подачі  $S$  (як при накатуванні або вигладжуванні), інструменту (кульки діаметром  $d_k$ ), підтиснутому до оброблюваної поверхні із силою  $P$ , надається зворотно-поступальний (осцилюючий) рух з частотою  $f$ , яка дорівнює частоті обертання вала електродвигуна, і амплітудою  $l$



уздовж осі деталі, що обертається з частотою  $n$ . У разі використання алмазного вигладжувача радіусом  $R_v$  процес називається вібровигладжуванням, оскільки він відбувається в умовах тертя ковзання.

Під час обкатування і вигладжування інструмент витискає на поверхні канавку (під час вібронакатування – синусоїдальну).

Мікрорельєф, який одержують під час вібронакатування, за характером і щільністю синусоїдальних каналів поділяють на чотири види. Варіювання форм, розмірів і розміщення мікронерівностей на поверхні деталі досягають зміною параметрів режиму обробки.

Система вібровигладжених каналів (канавок) утворює олівні кармани, в яких затримується мастильний матеріал і рівномірніше розподіляється по поверхні, що суттєво поліпшує умови тертя.

Оливний матеріал, що залишився у рівномірному лабіринті канавок, створює оливний клин. У цьому випадку, під тиском рідини по канавках виносяться осаджені абразивні частинки і продукти зношування за межі зони тертя.

Під час сухого тертя канавки працюють як пастки, що затримують продукти зношування, пил і абразивні частинки, завдяки чому локалізується їх абразивна дія, а також суттєво поліпшуються всі фізико-механічні характеристики поверхневого шару.

Вібронакатуванню (вібровигладжуванню) піддаються деталі з чорних і кольорових металів і сплавів твердістю до  $HRC\ 65$ .

Зусилля обробки знаходиться в межах 50-200 Н, що дозволяє обробляти маложорсткі деталі. Мікротвердість обробленої поверхні на 25-30% вища вихідної. Залишкові напруження після вібронакатування в 1,3-1,7 рази більші, ніж у разі накатування без вібрації на таких самих режимах. Зміцнення деталей вібронакатуванням знижує коефіцієнт тертя в 1,6-2,2 рази, а також підвищує зносостійкість вдвічі і більше разів.

Під час вібронакатування застосовують сталеві загартовані кульки і сферичні наконечники (вигладжувачі) з природних і синтетичних алмазів, твердого сплаву. Вибір матеріалу залежить від твердості оброблюваної поверхні та її характерних властивостей.

Для вібронакатування використовують вібратори, які мають привід для створення зворотньо-поступального переміщення інструменту від окремого електродвигуна. Обертальний рух електродвигуна перетворюється у зворотно-поступальний рух штанги

за допомогою ексцентрика, розміщеного на валу електродвигуна. На одному кінці штанги встановлено кульку, яка кріпиться за допомогою цангової втулки і гайки. Другим кінцем штанга з'єднана штифтом із втулкою, яка переміщується разом із штангою. На втулці у корпусі встановлена силова тарована пружина із шкалою. За допомогою кутника пристрій встановлюють на різці-тримачі супорта токарно-гвинторізного верстата.

**Алмазне вигладжування** (рис. 3.50, ж) широко використовується для підвищення експлуатаційних властивостей зовнішніх і внутрішніх поверхонь деталей машин як фінішна операція під час їх відновлення.

Сутність його полягає у поверхневому пластичному деформуванні деталі ковзним на її поверхні інструментом, робочим елементом якого є алмаз або надтверді матеріали з нітриду бору (гексаніт  $P$ , кубоніт тощо), які мають високу твердість, низький коефіцієнт тертя по металу та малу шорсткість ( $R_a = 0,02-0,04$  мкм). Завдяки малим радіусам робочої частини інструмента ( $R_{алм} = 0,5-3,5$  мм) за порівняно невеликих зусиль вигладжування (150-300Н) як результат створення на контактній площадці великих тисків можна обробляти маложорсткі деталі із м'яких загартованих до  $HRC$  60-65 сталей і сплавів.

Радіус алмазу вибирають з урахуванням твердості оброблюваної поверхні. Для матеріалів твердістю  $HB < 300$  він становить 2,5-3,5 мм, при  $HRC$  35-60 – 1-2,5 мм і  $HRC$  50-65 – 1-2 мм.

Для обробки незагартованих сталей, кольорових металів і сплавів вихідна шорсткість повинна бути  $R_a < 2,5$  мкм. Загартовані сталі доцільно вигладжувати при вихідній шорсткості  $R_a = 0,32-1,25$  мкм.

Універсальний вигладжувач складається з оправки і алмазу. Він монтується у спеціальній пристрої, встановленій у різцетримачі верстата. Вигладжування проводять в умовах тертя ковзання, що відрізняє цей процес від накатування. Параметри режиму вигладжування приблизно такі, як і накатування.

Оптимальне зусилля  $P_{опт}$  приймають таким, за якого досягається найменша шорсткість поверхні.

Поздовжня подача для загартованих сталей становить 0,02-0,05 мм/об ( $R_{алм}=1-2$  мм), незагартованих сталей і кольорових сплавів – 0,03-0,07 мм/об ( $R_{алм}=2,5-3,5$  мм). Швидкість вигладжування (20-120

м/хв) практично не впливає на якість поверхні.

Основна деформація металу відбувається після першого проходу інструмента. Із збільшенням кількості проходів шорсткість поверхні суттєво не змінюється.

Як МОР під час вигладжування для чорних металів застосовують індустріальну оливу I-20А, для кольорових металів і сплавів – гас.

Алмазне вигладжування дозволяє одержати поверхню деталі із шорсткістю не нижче  $R_a = 0,04-0,08$  мкм, підвищити твердість на 25-30%, стійкість проти зношування на 40-60% і втомну міцність на 30-60 %.

**Обкочування (розкочування)** – сутність способу полягає в тому, що під тиском кульки або ролика здійснюється поверхневе пластичне деформування (зминання) мікронерівностей, які заповнюють западини мікропрофіля оброблюваної поверхні деталі. Цей спосіб створює поверхню з новим мікропрофілем – зменшує шорсткість, зміцнює оброблену поверхню, створює у поверхневому шарі сприятливі напруження тиску.

В процесі обкочування і розкочування початкові діаметри вала і отвору відповідно зменшуються і збільшуються за рахунок ущільнення металу. Точність отворів підвищується, клас шорсткості зростає з 5-6 до 9-10, зносостійкість збільшується в 1,5...2 рази. Обкочування і розкочування у порівнянні з шліфуванням і розточуванням у декілька разів підвищує продуктивність.

Обкочування і розкочування валів і отворів здійснюють спеціальними підпружиненими регульованими шариковими накатками і розкатками. Для розкочування отворів, крім однокулькових розкаток, застосовують багатокулькові і багатороликові регульовані розкатки з конічними роликами. Однокулькові обкатки закріплюють на супорті токарно-гвинтового верстата при обробці вала, а вал – у патроні або центрах. При розкочуванні отворів в обертових деталях, гніздах вальниць, гільзах тощо на токарно-гвинторізнному верстаті розкатку встановлюють хвостовиком у патроні. Посадочні отвори в корпусних деталях розкочують однокульковими або багатороликовими розкатками, які закріплюють у шпинделі, а деталь на столі свердлильного або розточного верстата.

Режими обкочування і розкочування: припуск на ущільнення поверхневого металу деталі становить 0,01...0,03 мм або визначається за формулою, мм:

$$a = 1,35(h_1 - h_2), \quad (3.7)$$

де  $h_1$  і  $h_2$  – найбільша висота нерівностей профілю по  $R_z$  відповідно до і після деформування, мм; подача повздовжня (осьова) при роботі однією кулькою 0,1...0,3 мм/об і роликком – 0,3...0,5 мм/об, колова швидкість – 30...50 м/хв.

Зусилля, яке необхідне для пластичної деформації гребінців і ущільнення поверхневого шару металу обкочуванням і розкочуванням залежить від твердості, класичності і структури, шорсткості поверхні, конструктивних особливостей деталі і оправки-інструменту. Мале зусилля не забезпечить повного ущільнення поверхні, велике – викличе перенапруження і лушення (руйнування) поверхні і зниження строку роботи оправки-інструмента. В практиці зусилля обкочування і розкочування приймають 0,8...1,2 кН, якщо оброблювальна поверхня знаходиться в межах HRC 200...600.

Найбільш точне зусилля обкочування і розкочування визначають за формулами:

$$\text{при обробці кульками } P_u = \left( \frac{dp}{0,54E} \right)^2 \cdot p, \text{ Н,}$$

$$\text{при обробці роликком } P_p = \frac{Dlp^2}{0,126E \left( \frac{D}{d} + 1 \right)}, \text{ Н,}$$

де  $d$  – діаметр кульки або ролика, мм;

$p$  – найбільше значення питомого тиску, Н/мм<sup>2</sup>;

$E$  – модуль пружності оброблюваного матеріалу, МПа;

$D$  – діаметр оброблюваної деталі, мм;

$l$  – довжина контакту ролика з деталлю, мм.

При обробці сталі і кольорових металів оправку-інструмент змащують машинною оливою, а при обробці чавуну – оливою. Це зменшує коефіцієнт тертя, температуру контактних поверхонь, покращує шорсткість, підвищує стійкість деформуючих кульок і роликів.

Обкочуванням і розкочуванням відновлюють шийки валів, отворів корпусних деталей, гільз циліндрів, втулок верхніх головок шатунів, гнізд вальниць в обертових деталях тощо.

**Зміцнення поверхні деталі пристроями поверхнево-пластичного деформування (ППД)** (обкатування, вібронакатування та ін.) відрізняється від традиційних способів механічної обробки (точіння, шліфування, хонінгування та ін.) більшим кроком мікронерівностей і радіусами закруглень мікровиступів та мікровпадин, відносно більшою опорною поверхнею та високою однорідністю, малим числом мікровиступів на одиницю довжини. Із збільшенням радіусу вершин мікровиступів і однорідності їх по формі та висоті збільшується несуча здатність поверхні, темп її припрацювання, контактна жорсткість, зносостійкість, гідрошільність, товщина оливої плівки, виникаюча при змащенні, а із збільшенням радіусу закруглення мікровпадин підвищуються втомна міцність, опір корозії та запилення поверхні.

Основними особливостями та недоліками засобів чистової обробки різанням є:

- загострена форма виступів та впадин мікронерівностей;
- відносно низька несуча здатність, обумовлена загостреною формою мікронерівностей та відповідно малою опорною поверхнею при початкових зближеннях в процесі припрацювання;
- пряма залежність між кроком та висотою мікронерівностей і, як наслідок, мала маслоємність поверхонь;
- неможливість регулювання форми мікронерівностей при одній тій же висоті;
- високий ступінь неоднорідності мікрорельєфу;
- шаржування оброблюваної поверхні осколками абразивного інструменту;
- припалювання внаслідок абразивної обробки.

Ці недоліки більшості способів чистової та зміцнюючої обробки різанням і тиском ускладнюють рішення таких задач, як:

а) отримання та оптимізація мікрорельєфу робочих поверхонь деталей за рахунок нормування та технологічного забезпечення геометричних параметрів якості поверхні, які поліпшують експлуатаційні властивості;

б) застосування розрахункових методів нормування та технологічного забезпечення геометричних характеристик якості поверхні.

Одним із рішень задач по усуненню вище перерахованих недоліків є прогресивний спосіб зміцнення – вібронакатування (вібровигладжування). Обробка металів ППД ґрунтується на застосуванні їх пластичних властивостей, здатності при визначених умовах здобувати під дією зовнішніх сил залишкові деформації мікроступів поверхневого шару без порушень їх суцільності.

Сутність вібронакатування полягає у тому, що закріпленій деталі у центрах токарно-гвинторізного верстату надається обертальний рух з частотою  $\Pi_p$ , а робочому інструменту (алмазному вигладжувачу, кульці), до якого прикладене навантаження  $P$ , надається осцилюючий рух (коливальний) з частотою  $\Pi_{п.х.}$  паралельно осі оброблюваної деталі та повздовжня подача  $S_{np.}$  (рис. 3.52)

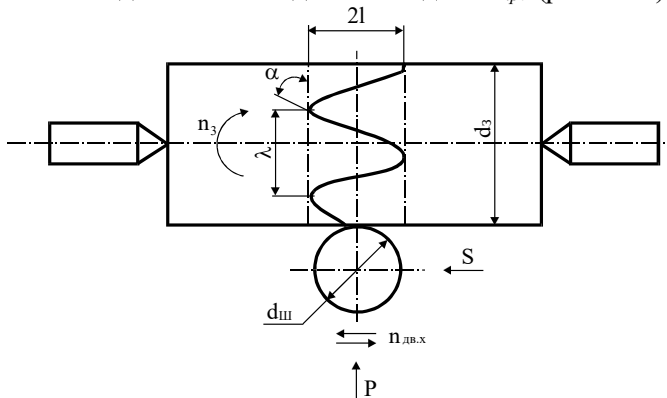


Рис. 3.52 – Параметри режиму вібронакатування:  $n_3$  – частота обертання заготовки;  $S$  – подача кульки за один оберт заготовки;  $n_{об.х.}$  – число подвійних ходів (циклів осциляції);  $l$  – амплітуда осциляції;  $d_{ш}$  – діаметр кульки;  $P$  – зусилля втискання кульки;  $d_3$  – діаметр заготовки;  $\lambda$  – довжина хвилі канавки;  $\alpha$  – кут сітки каналу

Внаслідок обробки виникає мережа каналів з частково регулярним мікрорельєфом (ЧРМР), або повністю регулярним мікрорельєфом (ПРМР) (рис. 3.53). Характер мікрорельєфу (розміри, форма, взаєморозташування мікронерівностей) визначається режимом та умовами обробки поверхневого шару деталі.

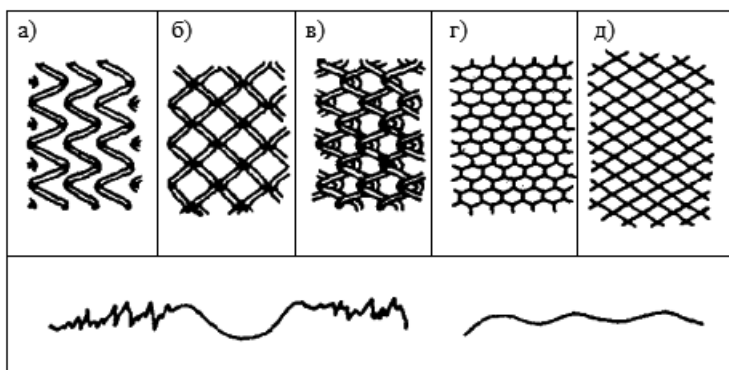


Рис. 3.53 – Види частково-регулярних мікрорельєфів ЧРМР (а, б, в) та мікрорельєфу ПРМР (г): а – канавки, що не торкаються; б – канавки, що торкаються; в – канавки, що перетинаються; г – канавки, що зливаються (ПРМР)

В процесі вібронакатування поверхня деталі обробляється по гвинтовій лінії віброуючим робочим інструментом з амплітудою коливань  $\lambda$ , тобто на гвинтову лінію накладається нескінченна синусоїдна крива. На поверхні деталі витискаються канавки визначеної форми глибиною в декілька десятків мкм залежно від твердості оброблюваного матеріалу.

Вібронакатування – чистова (фінішна) обробка, яка забезпечує утворення оптимального для різних умов експлуатації мікрорельєфу поверхні, збільшує втмну міцність, контактну жорсткість та зносостійкість. Вона супроводжується наклепом, збільшенням мікротвердості оброблюваного металу, підвищенням класу шорсткості поверхні, зменшенням або повністю виключенням припрацювання спряження. При утворенні системи канавок ЧРМР зміцнюються ділянки впадин та напливів; при утворенні повністю перекритої канавками поверхні (ПРМР) – нова поверхня зміцнена повністю (як виступи, так і впадини).

При вібронакатуванні утворюється мікрорельєф, в якому радіус мікровиступів та мікровпадин у сотні, тисячі раз більший, ніж при традиційних способах механічної обробки. Цей мікрорельєф характеризується більшою опорною поверхнею при достатній її маслоємності та високим ступенем однорідності. Канавки, утворені вібронакатуванням, служать оливними карманами. Продукти зносу та абразивний пил осідає на дно канавок та разом з оливою під тиском

виноситься за межі зони тертя спряжених деталей. При цьому в зоні тертя зменшується температура, коефіцієнт і момент тертя, різко підвищується зносостійкість спряжених поверхонь.

Основними параметрами процесу вібронакатування (вібровигладжування) є:

*Зусилля вібронакатування*  $P$  визначає величину залишкової деформації і вона тим більша, чим більше  $P$  і чим менший опір оброблюваного матеріалу пластичному деформуванню. Воно є одним із основних параметрів режиму зміцнення, яким можна найбільше впливати на ступінь вигладжування, тобто на зменшення шорсткості поверхні.

*Мірою залишкової деформації та ступені вигладжування* прийнята зміна діаметру деталі:

$$\Delta d = \kappa \cdot (R_{z \text{ вих.}} - R_z), \quad (3.8)$$

де  $R_{z \text{ вих.}}$  – вихідна шорсткість поверхневого шару, мкм;

$R_z$  – шорсткість поверхневого шару після обробки, мкм;

$\kappa$  – коефіцієнт, залежний від властивостей оброблюваного матеріалу ( $\kappa = 1, 3 \dots 1, 5$ ).

*Зусилля обробки* визначає як геометричні (ширина та глибина канавки, ступінь обробки вихідної поверхні, шорсткість), так і фізико-механічні характеристики якості поверхневого шару (твердість, остаточні напруги та інш.).

*Радіус тору вигладжувача або діаметр кулі*  $R_b$  вибирається у першу чергу залежно від шорсткості та розмірів оброблюваної деталі, а також від жорсткості поверхневого шару деталі. При обробці мало- і нерівножорстких деталей необхідно використати кулі малого діаметру, так як при цьому необхідна деформуюча дія здійснюється при менших зусиллях обробки.

*Амплітуда коливань робочого інструменту*  $\lambda$  встановлюється та вимірюється за рахунок зміни ексцентриків на валу електродвигуна. Величина амплітуди звичайно не перевищує 3 мм, що пов'язано із збільшенням інерційних сил та прискореним виходом віброголовки з ладу.

*Число подвійних ходів (осциляцій)*  $\Pi_{n.x.}$  визначається частотою обертів вала електродвигуна.

*Частота обертів деталі*  $\Pi_\delta$  визначає кількість хвиль (синусоїд), витиснених канавок, які припадають на один оберт деталі та величину зміщення канавок відповідно одна до другої у напрямку обертів деталі.



Відношення числа подвійних ходів (осциляцій) до частоти обертання деталі ( $i = P_{n.x}/n_d$ ) є основним параметром, який визначає характер взаємного розташування витиснених канавок у напрямку обертання деталі. Ціла частина  $i$  показує, скільки разів довжина хвилі канавки укладається на довжині окружності деталі, а дробова  $i$  – величину зміщення канавок одна відносно іншої при кожному подальшому оберті деталі (зсув хвиль по фазі).

Повздовжня подача робочого інструменту  $S_{np}$  показує відстань між канавками у напрямку подачі та вид мікрорельєфу.

Режим вібронакатування (вібровигладжування) визначає не тільки ступінь перекриття витиснутими канавками вихідної поверхні та вид мікрорельєфу, але й величину опорної поверхні, площу та об'єм канавок, висоту, крок і форму мікронерівностей, а також їх число на одиницю площини.

Форма мікронерівностей визначає маслоємність поверхні, її несучу здатність, втомну та корозійну міцність. Залежно від зміни співвідношення  $P_{n.x}/n_d$  та амплітуди коливань інструменту  $\lambda$ , а також величини повздовжньої подачі  $S_p$  можна формувати мікрорельєфи різноманітної форми.

За допомогою вібронакатування можливо утворювати мікрорельєф, який корінним чином відрізняється за формою, співвідношенням розмірів та формою мікронерівностей, розташованих уздовж та поперек твірної тіл обертання, які неможливо отримати при всіх існуючих способах оброблювально-зміцнюючої обробки різанням та тиском.

Універсальний пристрій для вібронакатування (рис. 3.54) встановлюється в різцеутримувачі токарно-гвинторізного верстату. Основним призначенням пристрою є здійснення осциляційного руху алмазного кінцевика (кульки). Обертальний рух вала електродвигуна за допомогою ексцентрикового механізму перетворюється у зворотно-поступальний рух робочого інструменту (кульки) паралельно вісі деталі з числом осциляцій, рівним частоті обертання вала електродвигуна та довжиною ходу, рівною подвійному ексцентриситету ексцентрикового механізму.

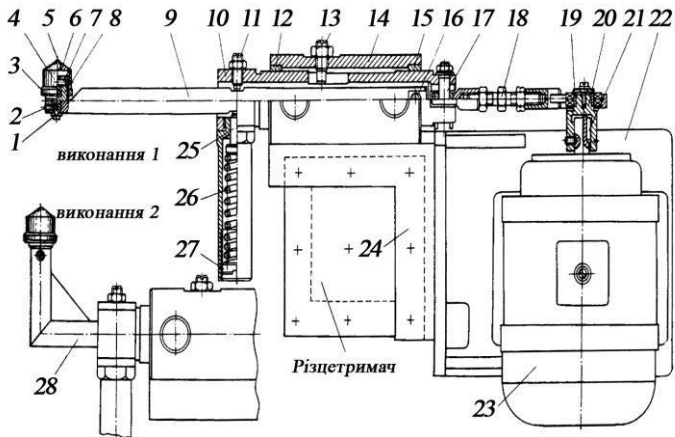


Рис. 3.54 – Універсальний пристрій для вібронакатування (вібровигладжування) деталей: 1 – гвинт; 2 – вісь; 3 – нарізне кільце; 4 – сепаратор-ковпачок; 5 – робоча кулька; 6 – вальниця кулькова; 7 – вісь; 8 – корпус; 9 – штанга; 10 – втулка; 11, 13 – гвинти обмежувачі; 12, 15 – вкладиші; 14, 20 – втулки; 16 – штифт; 17 – вісь; 18 – регульовальна гайка; 19 – ексцентрик; 21 – шпонка; 22 – основа; 23 – електродвигун; 24 – прямокутник; 25 – кінцевик; 26 – тарована пружина; 27 – нарізна пробка

Нарізна пробка 27 служить для попереднього стиснення пружини. Остаточна установка на необхідний для накатування тиск здійснюється додатковим переміщенням усього пристрою в напрямку, перпендикулярному осі обертання заготовки (деталі) за допомогою поперечної подачі верстата.

Під дією деформуючого інструменту, твердість якого вища твердості оброблюваного матеріалу відбувається деформація нерівностей поверхні деталі: метал «розтікається», заповнюючи суміжні западини. Якісні показники поверхні, отриманої в результаті вібронакатування, визначаються режимами обробки. Від цих режимів залежать експлуатаційні (зносостійкість, шорсткість, корозійна стійкість, опір схоплюванню, гідрошільність, коефіцієнт тертя, несуча здатність, опірна поверхня) та фізико-механічні характеристики (твердість, утомна міцність, пластичність та інш.).

Шорсткість поверхні – сукупність нерівностей, що повторюються з відносно малими кроками, які утворюють рельєф поверхні деталі. Її критерієм є середньоарифметичне відхилення

профілю  $R_a$  (6-12 класи), або  $R_z$  (1-5 та 13 і 14 класи шорсткості поверхні).

Після вібронакатування шорсткість поверхні можна одержати  $R_a = 20 - 0,02$  мкм, а твердість збільшити у порівнянні з початковою на 30 – 60 %.

Для вібронакатування (вібровигладжування) застосовують тримачі, в яких закріплюють деформуючі елементи: кульки діаметром 3 - 40 мм (сталь ШХ 15, HRC 62 – 65), природні і синтетичні алмазні та твердосплавні наконечники від 1 до 3мм, які виготовляються підприємствами алмазних інструментів.

При вібронакатуванні робочий інструмент виконує більш складний рух відносно оброблюваної поверхні, ніж при інших способах ППД, «атакує» кожний виступ мікронерівностей початкової поверхні з різних сторін, ніби розкатуючи метал в різних напрямках, в результаті чого опір деформації зменшується; а деформуюча дія зростає. З позиції дислокаційної теорії збільшення деформуючої дії з ускладненням кінематики процесу ППД пояснюється збільшенням числа площин ковзання, осередків виникнення та розвитку ППД, зменшенням накопиченої енергії та опору розвитку деформації на кожному напрямку.

Зміцнення поверхневого шару пов'язане зі зміною кристалічної структури металу. Зерна металу подрібнюються; при цьому створюється дрібнозерниста структура, збільшується кількість викривлень кристалічної решітки дислокацій. Дислокації перешкоджають переміщенню окремих частин кристалів по площинах ковзання, а переборювання опору дислокацій вимагає застосування значно більших напружень.

Крім розглянутого універсального пристрою для вібронакатування деталей (рис. 3.45) застосовують віброголовки з вібраторами, які забезпечують зворотно-поступальний рух робочого інструменту з заданою частотою та амплітудою коливання. Вібратори розподіляються на три основні типи: ексцентрикові, електромагнітні та поршневі (пневматичні та гідравлічні), які приводяться від електродвигунів.

**Термопластична обробка** здійснюється одночасно (слідом) з механізованим наплавленням (в середовищі вуглекислого газу і т.д.), металізацією. В гарячому стані метал ущільнює (прикатує) на поверхні деталі ролик із твердого сплаву Т5К6, який установлюють на

державці в різцетримачі. Ролик притискається за допомогою пружини до наплавленого шару металу на поверхню деталі із зусиллям 800...1200 Н. Цей спосіб зменшує напруження, подрібнює структуру металу – підвищує твердість, збільшує витривалість наплавленого шару на 25...30%.

**Термомеханічна обробка металів (ТМО)** – це сукупність операцій пластичного деформування, нагрівання і охолодження, як результат яких формування кінцевої структури сплаву, а відповідно і його властивостей, відбувається в умовах підвищеного числа недосконалостей кристалів, створених пластичним деформуванням. ТМО відноситься до зміцнювальних технологій.

Розрізняють високотемпературну (ВТМО) і низькотемпературну (НТМО) термомеханічну обробку.

ВТМО сталі складається з гарячої обробки тиском у межах температур стійкості аустеніту, НТМО – із деформації в межах температур нестійкості аустеніту (нижче критичних точок перетворень) (рис. 3.55). З такого аустеніту при подальшому загартуванні одержують мартенсит з особливою будовою, яка забезпечує дуже високу межу міцності (до 3000МПа).

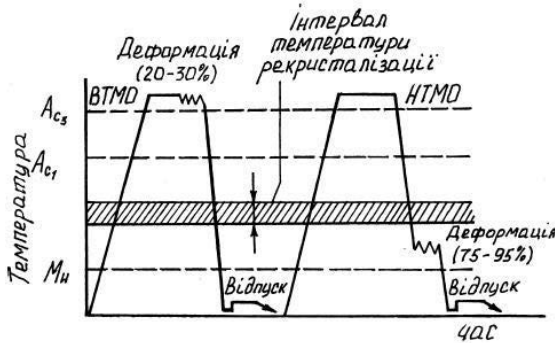


Рис. 3.55 – Циклограми термомеханічної обробки сталі

Нагрівання деталі для ТМО забезпечується теплом, що виділяється у процесі наплавлення, необхідного для нарощування зношеного поверхневого шару.

Під час ВТМО наплавлений метал обробляють двома деформуючими роликами (рис. 3.56, а); відразу ж після нанесення шару металу на поверхню за  $t = 900-950^{\circ}\text{C}$  і тиску  $P_1 = 1000-5000$  Н з наступним природним охолодженням. Під час НТМО (рис. 3.46, б)

наплавлений метал спочатку деформують за температури ВТМО, а потім знову деформують в інтервалі температур 350-700°C при  $P_2 = 5000-15000$  Н з охолодженням за допомогою спреєра.

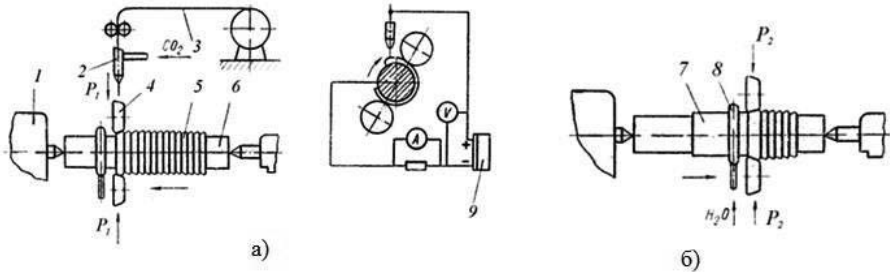


Рис. 3.56 – Схема проведення ВТМО (а) у процесі наплавлення деталей і НТМО (б) після його припинення: 1 – верстат;

2 – наплавочна головка; 3 – зварювальний дріт; 4 – деформуючий ролик; 5 – наплавлений метал після ВТМО; 6 – деталь; 7 – наплавлений метал після НТМО; 8 – спреєр; 9 – джерело струму

ТМО ущільнює і згладжує наплавлену поверхню, чим сприяє усуненню металургійних дефектів у вигляді пор, тріщин, несущільностей; зменшує припуск на механічну обробку та її трудомісткість; забезпечує шорсткість поверхні  $Ra = 1,25-0,32$  мкм;

### 3.8 Електролітичне (гальванічне) і хімічне покриття

Електролітичне (гальванічне) і хімічне покриття застосовують для відновлення зношеного шару металу до 0,05-0,15 мм на деталях високого класу точності, такий як прецензійні пари паливної апаратури дизельних двигунів, гідросистеми тракторів тощо.

До електролітичних процесів, які застосовують при ремонті машин, відносяться хромування, залізнення (осталювання), нікелювання, міднення.

Електроліз – це електрохімічний процес, який проходить між катодом (деталлю) і анодом в електроліті (водні розчини солі, кислоти або луку) та супроводжується виділенням на катоді металу (рис. 3.57). Анод виготовляють з металу, який наноситься на деталь, рідше – із свинцю.

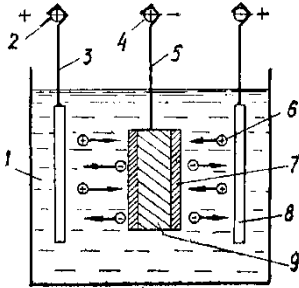


Рис. 3.57 – Схема електрохімічного осадження металу: 1 – ванна; 2 – анодна штанга; 3 – гак (підвіска) для навішування анода; 4 – катодна штанга; 5 – гак (підвіска) для завішування деталі (катоду); 6 – іони металу (катіони  $Me^{n+}$ ); 7 – покриття ( $Me_0$ ); 8 – анод; 9 – деталь (катод)

Кількість осаджуваного металу в грамах визначають за формулою:

$$G = Eit\eta, \quad (3.9)$$

де  $E$  – електрохімічний еквівалент, г/А год. (хрому – 0,323; заліза – 1,042; нікелю – 1,094; міді – 1,186);

$i$  – сила струму, А;

$t$  – час електролізу, год.;

$\eta$  – коефіцієнт корисної дії процесу (яка частка струму використовується корисно для осаджування металу на катоді деталі): для хромування – 0,13...0,17 (13...17%), залізнення – 0,9...0,95 (90...95%), нікелювання 0,75...0,85).

Середню товщину шару металу, осадженого на катоді (деталі), мм, визначають за формулою:

$$h = \frac{ED_k t \eta}{1000\gamma}, \quad (3.10)$$

де  $D_k$  – густина струму на катоді, А/дм<sup>2</sup>;

$\gamma$  – питома маса осаджуваного металу, г/см<sup>3</sup>.

Електролізом одержують рівномірні за товщиною покриття з твердістю від 1000 до 1200 МПа. Є широкі можливості регулювання твердості складом електроліту і режимами.

Час електролізу в годинах, щоб одержати покриття заданої товщини визначають:

$$t = \frac{1000 \cdot h\gamma}{ED_k \eta}, \quad (3.11)$$

де значення  $E$ ,  $D_k$ ,  $\eta$  і  $\gamma$  беруть з відповідних довідників окремо для кожного способу електролітичного покриття.

Для живлення гальванічних ванн використовують реверсивний постійний або асиметричний змінний струм напругою 6...12 В.

Джерелами струму для гальванічного покриття можуть бути випрямлячі селенові – ВСМР, кремнієві – ВАКГ, германієві – ВАГГ і т.ін., а також низьковольтні генератори постійного струму типу АНД.

Крім постійного струму при нанесенні електрохімічних покриттів застосовують змінний асиметричний струм. Він поліпшує покриття і дає змогу інтенсифікувати процес за рахунок підвищення густини струму у 1,5-3 рази. При застосуванні змінного струму використовують зварювальні трансформатори.

Хімічні покриття одержують, занурюючи деталь у розчин, без пропускання електричного струму й витримуючи у ньому до одержання потрібної товщини покриття.

Технологічний процес відновлення деталей нанесенням електролітичних і хімічних покриттів складається із трьох операцій: підготовчої, нанесення покриттів і механічної обробки в розмір.

Підготовча операція під електролітичне покриття складається з механічної обробки (видалення слідів зношування та надання деталі правильної геометричної форми); ізоляції поверхонь, які не підлягають нарощуванню; монтажу у підвісні пристрої; знежирення і травлення поверхонь, що покриваються; механічної обробки в розмір.

Ізоляцію поверхонь, що не підлягають нарощуванню, проводять: мастикою на основі воску, парафіном, плівкою поліетиленовою, розчином целулоїду в ацетоні, лаками типу ХВ-77, ПХВ-101, гумовим клеєм та ін., які легко можна зняти.

Підвісні пристрої повинні мати достатній переріз струмопровідних частин. Допустима сила струму на 1 мм<sup>2</sup> перерізу заліза – 0,5...1 А, міді – 2,5...3 А, латуні – 2...2,5 А. Деталі в підвісних пристроях бажано розміщувати вертикально – буде щільніше покриття. Для захисту окремих поверхонь деталі від покриття в склад пристроїв підвісних входять спеціальні крани-пластини з текстоліту і т.ін., футляри-чохла з склотканини.

Знежирюють деталі віденським вапном (суміш окису кальцію і магнію) з домішкою 3% кальцинованої соди і 1,5% їдкого натру. Цю суміш розводять водою до пастоподібного стану і наносять на деталь щіткою. Видаляють шар цієї ізоляції з поверхні деталі у проточній воді. Для покращення покриття застосовують електрохімічне знежирювання деталей. У цьому випадку деталь є катодом, а лист з

м'якої сталі – анодом. Електролітом є суміш кальцинованої соди – 20 г/л, тринатрійфосфат – 15 г/л, емульгатор ОП-7-3, густина струму 5...10 А/дм<sup>2</sup>; тривалість процесу 3...4 хв.

Травлення (декапірування) застосовують для видалення окисних плівок з поверхні деталі. Цю операцію проводять у ваннах, в яких наносять покриття, але деталь під'єднують до анода, а електродні пластини до катоду – переключують полюси тривалістю на 1...2 хв., при цьому густина струму повинна бути 20...50 А/дм<sup>2</sup>.

Видаляти деякі окисні плівки на деталях можна хімічним травленням у 5-процентному розчині соляної кислоти. Хороші результати дає знежирювання в ультразвукових установках типу УЗВ або гальванічних ваннах з ультразвуковим пристроєм.

Після одно-, двохвилинного декапірування міняють полярність – під'єднують деталь до катоду, а електродні пластини до аноду. Встановлюють режими електролітичного покриття (нарощування).

Ціль – компенсувати зношений шар металу на поверхні деталі й наростити припуск на механічну обробку, відновити поверхневі фізико-механічні властивості. Деталі після електролітичного нарощування промивають у проточній воді.

Наступна операція після нарощування – механічна обробка: шліфування, хонінгування, полірування, притирання деталі або загальне притирання пари деталей. *Задача* – забезпечити точність розмірів і форми, шорсткість поверхонь, щільність пари деталей.

При ремонті машин застосовують різні способи електролітичного покриття для відновлення зношеного шару металу на поверхні деталі: хромування, залізнення, нікелювання, міднення тощо.

**3.8.1 Хромування** – процес електролітичного покриття поверхні деталі в розчині хромового ангідриду – з домішками сірчаної кислоти і фтористої кислоти у дистильованій воді. Цей розчин називається *електролітом*. Найбільш поширені електроліти, які складаються з хромового ангідриду та сірчаної кислоти  $H_2SO_4$ . Процес найбільш продуктивний при співвідношенні  $\frac{C_2O_3}{H_2SO_4} = 100$ .

В практиці користуються трьома видами електроліту. Розбавлений електроліт  $C_2O_3$  – 120...150 г/л і  $H_2SO_4$  – 1,2...1,5 г/л забезпечує одержання покриття з найвищою твердістю і стійкістю проти зношування, але швидко виснажується.



Концентрований електроліт  $C_2O_3$  – 300...350 г/л і  $H_2SO_4$  – 3,0...3,5 г/л дає більш м'які осади і застосовується для захисно-декоративного хромування.

Універсальний електроліт  $C_2O_3$  – 200...250 г/л і  $H_2SO_4$  – 2,0...2,5 г/л займає проміжне положення між розведеним і концентрованим. Цей електроліт застосовують для одержання зносостійкого покриття, яке забезпечує твердість до 6000 МПа.

Матовий хром має дуже високу твердість, крихкість і сітку мікротріщин на поверхні, тому його не застосовують для відновлення зношеного шару металу. Матове покриття відкладається на деталі-катоді при низьких температурах електроліту – 35...50 °С і широкому діапазоні густини струму – 10...100 А/дм<sup>2</sup>.

Блискучий хром (покриття) – стійкий проти зношування, поверхнева твердість – 6000...9000 МПа, відкладається при температурі електроліту – 40...50 °С, густина струму – 40...60 А/дм<sup>2</sup>. Це покриття застосовується при відновленні зношеного шару металу на поверхнях високоточних деталей, його добувають з універсального електроліту.

Молочний хром утворюється при більш високих температурах електроліту – 70-90 °С і широкому діапазоні густини струму – 20...100 А/дм<sup>2</sup>. Молочні покриття характеризуються зниженою мікротвердістю – 4500...5500 МПа, пластичністю і підвищеною корозійною стійкістю.

Обов'язковими умовами для нормального протікання електролітичного процесу з виділенням хрому повинні бути: співвідношення в електроліті хромового ангідриду і сірчаної кислоти (90-120):1; використання нерозчинних свинцево-сурмянистих анодів; наявність в електроліті не більше ніж 4% тривалентного хромового ангідриду.

При монтажі підвісних пристроїв з деталями у ванні для хромування відстань між анодами та деталями-катодами дотримують в межах 30-35 мм. Відстань деталей від дна ванни повинна бути – 100-150 мм, а від верхнього рівня електроліту – 50-80 мм. Рівень електроліту має бути нижчим від верхніх країв ванни на 100-150 мм.

Відношення площі анодів до площі катодів (тільки площа поверхонь деталей, які покривають шаром хрому) повинно бути від 1:1 до 1:2.

При хромуванні деталей складної конфігурації обриси анода визначаються формою деталі-катода. Це забезпечить рівномірне

розподілення силових ліній по поверхні деталі, отже і рівномірне покриття. Виступаючі частини деталі прикривають свинцевими екранами, які відвертають на себе частину силових ліній і роззосереджують їх на краях деталі.

**Гаряче хромування** проходить в універсальному електроліті, який підігрівається гарячим паром або електронагрівачами ванни (установки). Склад електроліту та режими гарячого хромування: хромовий ангідрид – 200...250 г/л; соляна кислота – 2,0...2,5 г/л; температура електроліту – 45...50 °С; густина струму на катоді деталі – 20...60 А/дм<sup>2</sup>; вихід за струмом – 10...15%. При цьому складі електроліту і режимах отримують мікротвердість – 6000...9000 МПа.

Якщо до складу універсального електроліту (С<sub>2</sub>О<sub>3</sub>+Н<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) включити кремній фтористого калію і сірчано кислого стронцію – отримаємо саморегульований електроліт. Ці добавки автоматично підтримують необхідну концентрацію іонів, які вводяться в хромовий електроліт внаслідок надзалишку важкорозчинних солей кремнійфтористого калію та сірчано-кислого стронцію.

Склад електроліту і режими хромування в саморегульованому гарячому електроліті: хромовий ангідрид – 250...300 г/л; кремній фтористого калію – 18...20 г/л; сірчаний стронцій – 5,5...6,5 г/л; температура – 50...65 °С; густина струму на катоді – 40...80 А/дм<sup>2</sup>; вихід хрому за струмом – 17...22%.

Гарячі електроліти мають малі вихід хрому за струмом і швидкість покриття – 0,10...0,15 мм/год., вимагають постійного підігріву електроліту.

В зв'язку з цим застосовують менш агресивний процес і більш продуктивний – холодне хромування.

**Холодне хромування** дещо спрощує процес, дає вихід за струмом до 35%, забезпечує більшу швидкість покриття – до 0,4...0,5 мм/год. Склад електроліту і режими: хромовий ангідрид – 350...400 г/л; сірчана кислота – 2,0...2,5 г/л; їдкий натрій – 40...60 г/л; температура електроліту – 17...23 °С; густина струму – 50...100 А/дм<sup>2</sup>; вихід хрому за струмом на катоді – 30-35%. Мікротвердість покриття – 4500...6000 МПа.

Склад електроліту і режими саморегулюючого холодного хромування: хромовий ангідрид – 400...420 г/л; вуглекислий кальцій – 60...75 г/л; сірчано-кислий кобальт – 18...20 г/л; температура

електроліту – 18...25°C; густина струму – 100...300 А/дм<sup>2</sup>; вихід за струмом – 35...40%. Твердість мікропокриття – 9000...12000 МПа.

Доцільна товщина компенсації зношеного шару металу на поверхні деталі з урахуванням припуску на механічну обробку – 0,5...0,7 мм.

Пористе хромування застосовують з метою підвищення зносостійкості відновлених деталей, які мають рухомий характер спряження і недостатнє мащення, діють в умовах високих питомих тисків і швидкостей або при підвищених температурах. До таких деталей належать поршневі кільця і пальці, прецизійні пари паливної і гідравлічної апаратури тощо.

Електролітичне покриття при гарячому і холодному хромуванні дає блискучий шар хрому, який має погану змочуваність оливою. Це викликає інтенсивне тертя, виникають лущення поверхневого шару, заклинювання деталей тощо.

Для усунення цих недоліків застосовують пористе хромування в електроліті того ж складу – універсальному при гарячому або холодному покриттю.

**Пористе хромування** – це гальванічний процес утворення сітки каналів та лунок на базі мікротріщин блискучого шару хрому, які при роботі спряження заповнюються оливою, що істотно зменшує тертя між деталями.

Щоб створити канавчасту й ямкову пористість, потрібно перемкнути полюси протилежно процесу хромування. В цьому випадку деталь стає анодом, а свинцева пластина – катодом, отримаємо процес анодного травлення (дехромування). При такому травленні хром сходить з покриття нерівномірно і в основному з країв мікротріщин, які утворилися при хромуванні. Ці мікротріщини поглиблюються й утворюють сітку каналів, ямок.

Режими анодного травлення: густина струму – 25...40 А/дм<sup>2</sup>; напруга – 6...12 В; температура електроліту – 50...60 °С. Тривалість анодної обробки для одержання пористості – 6...15 хв. Чим більше вуглецю або легуючих елементів містить поверхні, тим менша тривалість анодного травлення.

Пористе покриття хрому має стійкість проти зношування у 2...2,5 рази більше, ніж гладке блискуче.

**3.8.2 Залізнєння** (осталювання) – процес електролітичного покриття поверхні деталі з урахуванням компенсації зношеного шару металу з урахуванням припуску на обробку.

Найбільш поширеним і придатним для утворення твердого шару покриття є електроліт, який містить 200 г/л хлористого заліза; 0,6...0,8 г/л соляної кислоти. Цей електроліт забезпечує отримання гладких і щільних дрібнозернистих покриттів з високими механічними властивостями товщиною до 0,5...1,5 мм і більше. Швидкість електролітичного осадження заліза 0,2...0,6 і доходить до 1 мм/год., майже у 3 рази більша, ніж хрому; вихід заліза за струмом – 80...95%, а хрому – 30...35% при густині струму – 20...60 А/дм<sup>2</sup>, напрузі – 6...12 В і температурі 60...80 °С. При цьому твердість покриття отримують до 6500 МПа.

Якщо немає промислового електроліту – хлористого заліза, то його готують з стружки маловуглецевої сталі Ст2, Ст3 або АРМКО – заліза у розчині соляної кислоти. Щоб отримати електроліт хлорного заліза, в якому б концентрація двохлористого заліза  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  була 200 г/л, необхідно протравити 56,2 г сталльної стружки і 250 г/л соляної кислоти питомої ваги 1,15 г/см<sup>3</sup> на один літр дистильованої води. Перед травленням стружку знежирюють у 10-ти процентному розчині каустичної соди і промивають у проточній воді. Потім стружку занурюють у водний розчин соляної кислоти, додають при необхідності хлористий натрій. Електроліту дають відстоятися протягом 12-18 годин, потім фільтрують, перевіряють і корегують кислотність, додають при необхідності 0,2...0,3 г/л соляної кислоти.

Залізнєння проводять у гарячих і холодних електролітах в гальванічних ваннах і безванним способом. Ванни для залізнєння аналогічні ваннам для хромування. Аноди для залізнєння виготовляють із маловуглецевої сталі. Відношення площі анодів до площі катодів (поверхня деталі, яка покривається залізом) повинне бути від 1 до 2. У ході процесу покриття аноди розчиняються і на їх поверхні утворюється шлам. Щоб не забруднювати електроліт, шламом, аноди розміщують у чохлах зі скляної тканини.

Підготовка поверхні деталі до залізнєння така ж, як і для хромування. Якість покриття залежить від складу електроліту і режиму процесу.

**Гаряче залізнення** проводиться при температурі електроліту 70...80 °С. Склад електроліту: хлористе залізо – 200...300 г/л, хлористий натрій – 100 г/л; соляна кислота – 1...2 г/л. Режими: густина струму на катоді – 10...50 А/дм<sup>2</sup>, напруга – 6...12 В.

Гаряче залізнення продуктивне, дає гарне покриття, але для цього процесу необхідно багато тепла. Тому, в практиці ремонту машин ширше застосовують холодне залізнення.

**Холодне залізнення** проводять на асиметричному змінному струмі при температурі електроліту – 18...20 °С. Застосовують суміш: хлористе залізо – 200г/л; сірчаноокисле залізо – 200 г/л; соляна кислота – 2...8 г/л або хлористе залізо – 400...600 г/л; соляна кислота – 5...10 г/л; аскорбінова кислота – 1...2 г/л тощо.

Режими: у перші 3 хв. густина струму – 3...5 А/дм<sup>2</sup> і коефіцієнт асиметрії – 1,5...2 (відношення амплітуд катодного і анодного струмів) доведенням протягом 5 хв густини струму до 30-50 А/дм<sup>2</sup>, коефіцієнт асиметрії до 10 і робота на цьому режимі до одержання заданої товщини покриття.

Ванним залізненням відновлюють поверхневий зношений шар металу на посадочних місцях валів трансмісії і ходової частини машин, шийки розподільних валів, штовхачі, стержні клапанів тощо.

**Місцеве** (безванне) залізнення полягає в тому, що на деталі (корпусній) у потрібному місці за допомогою пристрою створюють місцеву ванночку і проводять нарощування відповідної поверхні. Поверхню деталі, підготовлену до залізнення, травлять – 20-30%-ним розчином соляної кислоти і промивають у проточній воді. Потім монтують місцеву ванну (посадочне місце під вальницю в корпусній деталі), яка показана на рис. 3.58.

В ванночку заливають електроліт: 30 г/л сірчаної кислоти і 15 г/л сірчаноокислого алюмінію і протягом 3...5 хв. при щільності 5...8 А/дм<sup>2</sup> проводять анодне травлення. Звільняють ванночку від електроліту і промивають водою.

Після цього установлюють анод з маловуглецевої сталі, діаметр якого повинен бути рівним 1/3 діаметру отвору.

Потім заливають в електроліт: хлористе залізо – 400...500 г/л; соляну кислоту – 1,0...2,0 г/л; натрієвий хлор – 60...70 г/л; хлорний цинк – 25...35 г/л; електроліз проводиться на постійному струмі густиною – 20...25 А/дм<sup>2</sup>, температурі – 30...40 °С.

Якщо залізнення проводять на симетричному змінному струмі, то застосовують електроліт такого складу: хлорне залізо – 200...250 г/л; йодистий калій – 15...20 г/л; соляна кислота – 1,0...2,0 г/л. Режими: густина струму – 25...30 А/дм<sup>2</sup>; напруга – 6...12 В; температура – 15...20 °С. Твердість покриття – 4000...4200 МПа.

Після закінчення залізнення отворів деталі відсмоктують гумовою грушею електроліт, деталі промивають гарячою водою і нейтралізують 10%-ним розчином їдкою натрію.

Місцеве залізнення застосовують при відновленні зношеного шару металу в отворах корпусних деталей, коробок передач, задніх мостах, маточинах коліс тощо.

**3.8.3 Електролітичне покриття в проточному електроліті** – це безванний спосіб покриття зношених циліндричних поверхонь масивних, великогабаритних деталей. Ванні способи в даних випадках трудомісткі або неможливі.

Суть процесу. Струмний електроліту проходить через міжелектродний простір деталей (катод) – електрод (анод), добре перемішується і під дією струму густиною – 180...220 А/дм<sup>2</sup> на поверхні деталі одержують дрібнозернистої структури шар металу.

Принцип нанесення покриття (рис. 3.58).

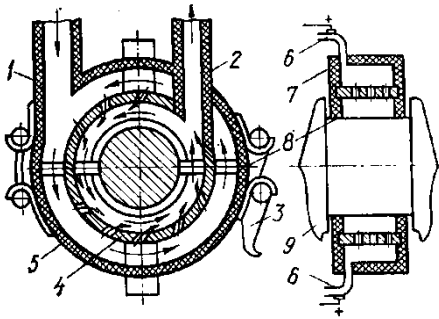


Рис. 3.58 – Струмний спосіб нарощування металу (електролітичний спосіб відновлення зношеної шийки колінчатого вала):  
 1 – підвідний патрубок;  
 2 – відвідний патрубок;  
 3 – затискач; 4 – анод; 5 – нижній корпус осередку; 6 – кабель для підведення струму; 7 – верхній корпус осередку; 8 – ущільнююча прокладка; 9 – катод (деталь)

Відстань між поверхнею деталі (катодом) і пристроєм (анодом) повинна бути не меншою 10 мм. Ця ванночка складається із роз'ємного корпуса 2, підвідного 5 патрубків для подачі електроліту в зону електроосадження металу (між катодом-деталлю і анодом-електродом) і видалення використаного.

Струмені електроліту подаються до деталі через отвори 3, які розташовані під кутом 30...40° до радіального напрямку струменя.

Це дозволяє у міжелектродному просторі добре перемішуватись електроліту, що гарно впливає на мікроструктуру покриття, його твердість. Коли можливо, то краще обертати деталь із швидкістю 6-12 об/хв. Це дає рівномірне за товщиною покриття і повністю виключає утворення наростів (дендритів) металу.

Цей спосіб застосовують для відновлення зношеного шару металу на шийках колінчастих валів, гільзах циліндрів двигунів, циліндрах гідросистем тощо.

### 3.8.4 Електролітичне натирання

Суть процесу. Електроліт подається між деталлю (катодом) і повстяним тампоном (анодом), між якими проходить електрохімічна реакція, в результаті якої на зношеній поверхні деталі натирається шар металу заданої товщини.

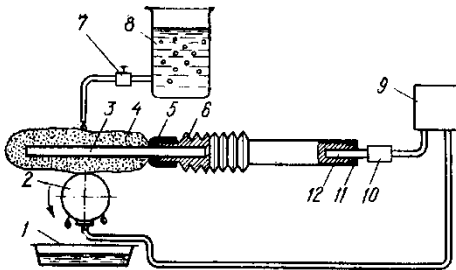


Рис. 3.59 – Електролітичне осадження металу натиранням:  
 1 – бак для збору електроліту;  
 2 – деталь (катод); 3 – графітовий стрижень (анод); 4 – тампон;  
 5 – пластмасовий ковпачок;  
 6 – алюмінієвий корпус; 7 – кран;  
 8 – резервуар з електролітом;  
 9 – джерело струму; 10 – клема;  
 11 – пластмасова гайка; 12 – штекер для підведення струму до анода

Принцип електролітичного натирання показано на рис. 3.59. Деталь-катод 8 встановлюють в патроні токарно-гвинторізного верстата і надають обертання з швидкістю – 4...8 м/хв. і підключають за допомогою

мідно-графітної щітки до катода джерела постійного струму 3. Електроліт з баку 1 за допомогою крапельниці з краном 2 подається до повстяного тампона 5, який знаходиться на графітному стрижні 4 (анод). Між деталлю (катодом) 8 і тампоном 5 в електроліті проходить електрохімічна реакція, в результаті якої на поверхні деталі натирається шар металу заданої товщини.

Для електронатирання приймають густину струму – 150...180 А/дм<sup>2</sup>, напругу – 6...12 В, температуру електроліту –

20...25 °С. Продуктивність цього способу в 3...4 рази вища, ніж при ванному осаджуванні.

Цим способом відновлюють зношені поверхні обертових деталей: деталі типу «вал», отвори корпусних деталей тощо.

Покращення відновлення деталей гальванічним нарощуванням можна здійснити за рахунок електролітів з добавкою хлорного заліза, хлорного хрому, хлорного нікелю, хлорного марганцю – отримаємо легований електроліт: хлористе залізо – 400...500 г/л, хлористий марганець – 12...16 г/л, хлористий нікель – 8...12 г/л, соляна кислота – 1...2 г/л. Режими процесу: температура електроліту – 50...60 °С, густина струму – 20...25 А/дм<sup>2</sup>. Щоб отримати легований електроліт, який дасть "сплав" заліза з хромом, в його складі мають бути: сульфат хрому – 450 г/л, амонію заліза – 13 г/л, сульфат магнію – 20 г/л, сульфат амонію – 100 г/л, рідкого скла – 1 г/л, гліцерину – 2-3 г/л. Кислотність електроліту рН – 0,8...1,3, температура – 50...60 °С, густина струму – 20...30 А/дм<sup>2</sup> тощо.

Електролітичні «сплави» – покриття мають твердість – 6000...10000 МПа, стійкість проти зношування в 1,5...1,8 рази вищу, ніж термооброблена сталь 45.

**3.8.5 Міднення** – це процес електролітичного покриття поверхонь деталей мідним шаром. Суть, принцип і засоби (гальванічна установка, джерела постійного струму тощо) такі, як і при відновленні деталей хромуванням. В основному різниця в матеріалі анода-електрода – його виготовляють із міді М-1 в електроліті. Електроліти для міднення бувають кислі та ціаністі. Ціаністі забезпечують високу якість покриття, але отруйні, що ускладнює їх застосування.

У ремонтному виробництві застосовують кислі електроліти складу: сірчанокіслена мідь – 95...125 г/л, етилендіамін – 40-60 г/л, сульфат амонію – 45...60 г/л, кислотність електроліту рН – 6,0...7,8. Режими електролізу: температура електроліту – 18...25 °С, густина струму – 1,5...2,0 А/дм<sup>2</sup>, напруга – 6...12 В, струм постійний.

Міднення застосовують для отримання підшару при антикорозійному хромуванні і нікелюванні (поршневі штоки гідроциліндрів гідросистеми тощо), а також для захисту окремих ділянок деталей від насичення вуглецем при цементації.



Для відновлення зношеного шару металу на поверхні деталі, виготовленої на основі міді із бронзи користуються термодифузійним способом.

### **3.8.6 Термодифузійний спосіб відновлення деталей із бронзи**

*Суть процесу* – збільшення зовнішнього і зменшення внутрішнього розміру відбувається за рахунок дифузії цинку в поверхові шари деталей.

Величина нарощування шару металу на поверхню деталі залежить від часу дифузії – цинкування. Наприклад, збільшення розміру деталі на 0,5...0,8 мм (товщина шару металу) можна отримати за 2...3 год.

Для нарощування шару металу, деталь нагрівають до температури 650...700 °С в суміші порошку вогнетривкої глини – 100 частин, хлористого амонію – 7 частин, цинка в порошку – 25...30 частин.

Перед приготуванням суміші вогнестійкий порошок глини прогрівають до температури 500...600 °С протягом 40...60 хв. Після охолодження, порошок глини змішують з порошком хлористого амонію та пилом технічного цинку. Деталі перед вкладкою зачищають до металевого блиску і знежирюють ацетоном. Потім дно сталевого ящика покривають сумішшю шаром – 20...25 мм і вкладають на нього в один шар деталі так, щоб між деталями і стінками ящика була відстань не менша 10 мм. Зверху деталі покривають 20...25 мм шаром суміші і щільно закривають кришку ящика (контейнера). Ящики з деталями попередньо нагрівають до температури 250 °С, а потім до температури – 650...700 °С. Час тримання ящика в печі при температурі – 650...700 °С залежить від величини відновлюваного шару металу і припуску на обробку в розмір. Виймають деталі з ящика при температурі 300...250 °С.

Суміш можна використовувати декілька раз, якщо кожен раз добавляти до неї 7 частин хлористого амонію і 15...20 частин порошку цинку.

Застосовується цей спосіб при відновленні верхніх головок шатунів дизельних двигунів тощо.

**3.8.7 Нікелювання** може бути електролітичним і хімічним. Воно застосовуються для захисту деталей від корозії (штоки гідроциліндрів), а також для підвищення стійкості деталей проти зношування (поршневі кільця, поршні гідравлічних машин, відновлення зношеного шару металу на поверхні поршневих пальців і т.ін.).

При електролітичному нікелюванні застосовують аналогічні гальванічні установки, джерела постійного струму і т.ін., що і при хромуванні.

Анод – пластини виготовляють з нікелю марки Н-1. Склад електроліту: сірчаноокислий нікель – 420 г/л, сірчаноокислий натрій – 160 г/л, хлористий нікель – 25 г/л, борна кислота – 15 г/л, хлористий натрій – 2,5 г/л, кислотність електроліту рН – 3,5...5, або щавлевокислий алюміній – 300 г/л, сірчаноокислий нікель – 140 г/л, хлористий натрій – 10 г/л, рН – 8. Режими електролізу: густина струму – 8...12 А/дм<sup>2</sup>, напруга – 6...12 В, температура електроліту – 60...75 °С.

Хімічне нікелювання проводиться без електричного струму. Воно ґрунтується на відновленні іонів нікелю до металу за допомогою розкладання гіпофосфата натрію, внаслідок чого виділяється атомарний водень. Водень відновлює іони нікелю, який в стані металу покриває поверхню деталі.

Для хімічного покриття нікелем в складі електроліту повинні бути такі компоненти: хлорний нікель – 45 г/л, хлорний амоній – 50 г/л, гіпофосфат – 20 г/л, цитрат натрію – 45 г/л. Кислотність електроліту рН – 5,5. Температура електроліту – 78...82 °С.

Хімічним нікелюванням відновлюють деталі, в яких зношування поверхні не перевищує – 0,05...0,10 мм. Це прецизійні деталі: плунжери поливних насосів, золотники гідросистеми тощо.

Доцільність нікелювання шару металу до 0,015...0,020 мм, при цьому отримують поверхневу твердість – 9000...9500 МПа після термообробки при 400 °С протягом 1 год.

Технологічна послідовність хімічного нікелювання: виправлення геометричної форми відновлюваної поверхні тонким шліфуванням, поліруванням; монтаж; ізолювання місць деталі, які не підлягають нікелюванню; знежирення відновлюваних поверхонь; травлення у 5%-му розчині соляної кислоти – 2-3 хв. знежирюваних поверхонь; промивка деталі проточною водою; хімічне нікелювання в

фарфоровій або пластмасовій ванні; термообробка; механічна обробка (припасування пари).

### **3.9 Способи відновлення деталей полімерними матеріалами**

**Загальні відомості.** Полімери – це з'єднання окремих молекул органічних речовин в одну макромолекулу, яка за певних умов (температури, тиску, середовища тощо) з'єднує всі компоненти в суміш – пластмаси, смоли. З них виготовляють втулки, шестерні, трубопроводи тощо, наносять тонкі шари покриттів, склеюють деталі і т. ін.

Властивості базових полімерів регулюють шляхом введення до їхнього складу спеціальних полімерів: поліетеленполіамін – пластифікатор; дибутилфтаміт – отверджувач; наповнювачі – металевий порошок, цемент, графіт тощо. Ці компоненти утворюють клей на базі епоксидної смоли – реактопласти, які при нагріванні тверднуть і втрачають здатність повторно розплавляться. До них відносяться епоксидні клейові суміші, клеї типу ВС, БФ, ВК та інші.

Епоксидні клейові суміші склеюють металеві і неметалеві матеріали, усувають тріщини в корпусних ненавантажених місцях. Тверднуть епоксидні суміші при температурі 20°C протягом 1...3 діб, при нагріванні до 100...120°C – 1,5...2 години. Процес проходить без тиску і суміш практично не дає усадки. Рецептuru клейових сумішей на основі епоксидних смол типу ЕД та вміст компонентів за масою вагових частин така: епоксидна смола – 100, пластифікатор (дибутилфталат) – 15...20, наповнювачі (чавунний порошок, бронзова і алюмінієва пудра, цемент, графіт) – 50...120, затвердник (поліетиленполіамін) – 7...10.

Перед приготуванням епоксидної клейової суміші банку з епоксидною смолою поміщають у посудину з водою і підігривають до температури 50...60°C. Як тільки епоксидна смола переходить у рідкий стан, її наливають в потрібній кількості в чисту порцелянову чи металеву посудину, додають пластифікатор дибутилфталат для підвищення еластичності і міцності суміші і ретельно їх змішують. Потім засипають в двокомпонентну суміш наповнювач, який забезпечує зближення фізичних властивостей шва і матеріалу, що склеюється, та знову ретельно перемішують до одержання однорідної суміші. В трикомпонентну суміш додають невеликими порціями

затвердник – поліетиленполіамін, не допускаючи підвищення температури суміші вище 30...35 °С, і теж ретельно перемішують. Чотирикомпонентна суміш і є готовою до використання епоксидною клейовою сумішшю, яка зберігається при кімнатній температурі не більше 20...30 хв. Тому затвердник в трикомпонентну суміш додають, коли місце підготовлене до склеювання. Тверднуть епоксидні клейові суміші при температурі 20 °С протягом 1...3 діб, при нагріванні до 120 °С – 1,5...2 години.

Для склеювання деталей внакладку, врівень, а також для відновлення нерухомих посадок, в яких натяг перейшов у зазор до 0,15 мм, застосовують клеї типу ВС, БФ, АН, УГ, ВК.

Клеї ВС-10Т, ВС-350 тверднуть при температурі 170...190°С, забезпечують надійну міцність при температурі до 300 °С. Ними можна склеювати у будь-якому поєднанні метали та їх сплави, а також неметалеві матеріали. Використовують для приклеювання фрикційних накладок, склотекстоліту тощо.

Клей БФ-2 і подібні тверднуть при температурі 140...160 °С протягом 1...2 годин. Механічна міцність зберігається до 50...60 °С. Найбільша міцність клейового з'єднання забезпечується при товщині клейового шару 0,15...0,25 мм. Клей наносять на місце склеювання двома-трьома шарами через 15...20 хв при кімнатній температурі (палець не прилипає до клею). Після цього поверхні, що склеюються, стискають (тиск 0,5...1 МПа), нагрівають до 150...200 °С і витримують 25...30 хв., а потім повільно охолоджують протягом однієї доби, це зміцнить клейовий шар. Деталі з неметалевих матеріалів нагрівають до 50...60 °С і витримують при цій температурі 2...3 години.

Клей БФ-4 застосовують для склеювання деталей, які працюють в умовах вібрації, він забезпечує еластичність шва і високу стійкість.

Клеї типу АН і УГ використовують для фіксації вальниць кочення, втулок. При температурі 20°С клеї АН-6 і АН-6В тверднуть протягом 90...100 год. Зі збільшенням температури до 50 °С час твердіння зменшується в два рази, а міцність зростає. Допустимий нагрів до 80 °С. Попереднє нанесення активатора КВ або КС на поверхню деталей з витримкою 10...20 хв (до повного висихання) зменшує час твердіння клеїв марки АН до двох годин, міцність з'єднання підвищується.

Довговічність нерухомих з'єднань і посадок залежить також від товщини клейового шару, з її збільшенням довговічність знижується. Оптимальна товщина шару клею при діаметральному зазорі 0,15...0,20 мм відновлюваного нерухомого спряження.

Термостійкі клеї марок ВК-32-200, ПП-9 застосовують для склеювання металевих і неметалевих деталей, що виконують роботу при температурі до 30 °С.

Карбінольний клей бензо– і оливоїстийкий використовують для склеювання деталей карбюраторів, акумуляторів і т. ін., що працюють в середовищі, температура якого знаходиться в межах 60...70°С, і не підлягають дії палива, кислот, лугів, спирту й ацетону.

При всіх способах поверхні деталей, які підлягають склеюванню, зачищають і знежирюють ацетоном, потім наносять клей.

При ремонті склеювання застосовують для: усунення тріщин, пробіїн і корозійних раковин (отворів у деталях типу картерів); наклеювання фрикційних накладок (колодок) замість клепання; забезпечення міцності нарізних з'єднань і нерухомих посадок; відновлення форм і розмірів зношених посадочних місць на валах і корпусних деталях; для протикорозійного захисту машин; виготовлення деталей.

Полімерні порошки марок ТПФ, ПФН застосовують для напилювання оперення, кабін, кузовів легкових автомобілів. Це покриття має високу міцність – 50...60 МПа.

Для виготовлення деталей, які мають високу зносостійкість та сприймають великі навантаження, використовують полімери-термопласти. При нагріванні вони розплавляються (температура плавлення 130...150 °С), а при охолодженні тверднуть і можуть при зміні температури багаторазово переходити у рідкий і твердий стан. До полімерів-термопластів відносять поліамід (капрон, поліетилен, смоли марок П-68, АК-7 та ін.). Ці поліаміди застосовують для виготовлення втулок, шестерень, шайб, нанесення тонких шарів покриття. Поліетилен має добру еластичність, застосовується для нанесення захисно-декоративних покриттів. Текстоліт – для виготовлення зубчатих коліс, дисків, фланців тощо.

**Заклеювання тріщин у корпусних деталях** починають з підготовки поверхні. Кінці тріщин закернюють і засвердлюють діаметром 2,5...3 мм для зняття внутрішніх напружень. Вздовж тріщини знімають фаски під кутом 50...60° на глибину 2...3 мм. Якщо стінки тонкі, то фаски не знімають. Поверхню деталі біля тріщини на

відстані 20...30 мм з обох боків зачищають до металевому блиску (видаляють сліди корозії і фарби), роблять насічку. Підготовлену поверхню знежирюють ацетоном. По конфігурації тріщини із металевій фольги або склотканини вирізають латку шириною 40...60 мм (20...30 мм на бік). Заповнюють канавку клейовою композицією (епоксидною клейовою сумішшю) й ущільнюють шпателем, наносять суміш на підготовлену поверхню товщиною 0,8...1,0 мм, накладають латку, яку прикочують роликком, і знову наносять клейову композицію, якщо латка із склотканини. Кількість шарів накладеної склотканини залежить від потрібної товщини загального шару й може досягти 5...8 мм.

При заклеюванні довгих тріщин, більше 150 мм, їхні кромки додатково зварюють постійним струмом зворотної полярності біметалевим електродом у кількох місцях через 30...40 мм або штифтують вкрутками. Способи заклеювання тріщини показані на рис. 3.60.

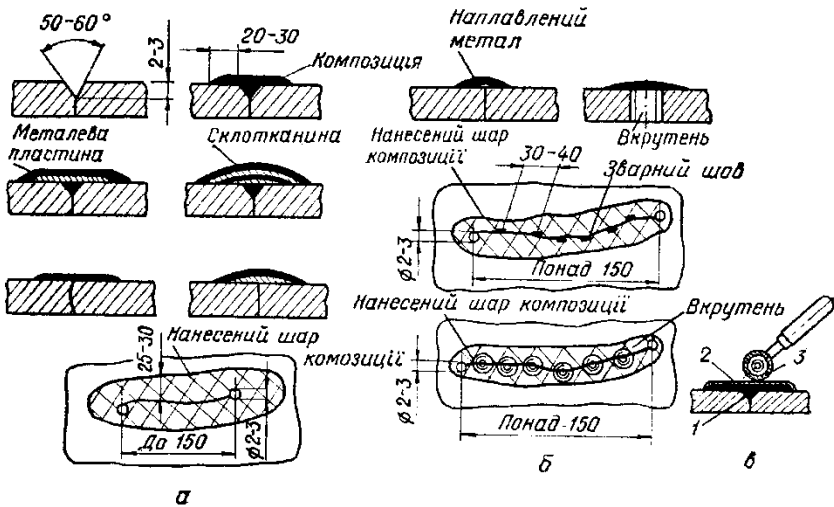


Рис. 3.60 – Заклеювання тріщин: а – коротких; б – довгих; в – прикочування накладки роликком; 1 – накладка; 2 – шар епоксидної суміші; 3 – ролик

Після заклеювання тріщини деталь витримують протягом 1...3 діб при кімнатній температурі 18...20 °С, 4...6 годин – при температурі 60...70 °С або при нагріванні до 120 °С – 1,5...2 год.

Епоксидними композиціями заклеюють тріщини у водяній сорочці блока і головки циліндрів, картерах коробок передач, задніх мостів, тобто в ненавантажених місцях, для відновлення герметизації.

**Заклеювання пробоїн у корпусних деталях виконують** теж епоксидною клейовою сумішшю (композицією) з приклеюванням металевої латки внапуск (деталь тонкостінна), врівень (деталь товстостінна) або закріпленням гвинтами з наступним нанесенням епоксидного клею (рис. 3.61).

Перед усуненням пробоїни притуплюють її гострі кромки і зачищають поверхню навколо пробоїни до металевого блиску на відстані 10...20 мм. Латку виготовляють із листової сталі товщиною 0,5...0,8 мм, а прокладки із склотканини, форма їх повинна відповідати формі пробоїни деталі і перекривати пробоїну на 10...20 мм.

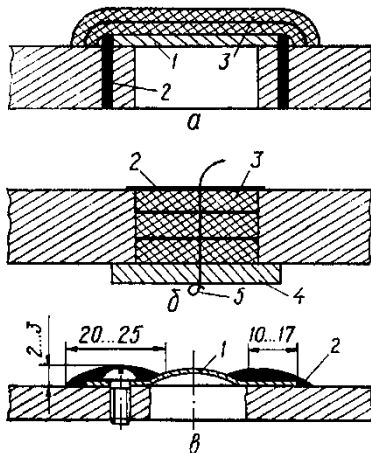


Рис. 3.61 – Заклеювання пробоїн у деталях: а – внапуск; б – врівень (деталь товстостінна);

в – накладанням металевої латки на гвинтах; 1 – металева латка; 2 – епоксидна суміш; 3 – тканинна латка; 4 – підтримувальна металева пластина; 5 – дріт

Підготовлену поверхню, латку і прокладки знежирюють ацетоном і просушують 5...8 хв.

Потім наносять на підготовлену поверхню деталі, латки і прокладки епоксидний клей товщиною 0,8...1,2 мм. Накладають металеву латку на покриту клеєм поверхню деталі, а на неї 2...3 прокладки із склотканини з наступним прикочуванням пакета роликком. Цей технологічний спосіб застосовують для усунення пробоїн в тонкостінних деталях.

Технологія підготовки поверхні навколо пробоїни в товстостінних деталях така ж, як і при усуненні пробоїн в тонкостінних деталях. До центру сталеві латки прикріплюють дріт діаметром 0,3...0,5 мм, довжиною 100 мм. Металеву латку і прокладки-наповнювачі, після знежирення, покривають шаром клею

товщиною 0,8...1,2 мм. Сталеву латку встановлюють під пробойну і фіксують її дротом по місцю. Потім вкладають в отвір пробойни на латку накладки із склотканини, доки пробойна не буде заповнена на всю товщину стінки. На верхню прокладку наносять повторно шар клею і прокочують роликком.

Великого розміру пробойни усувають накладанням металевої латки на гвинтах. Для цього навколо отвору на відстані 40...50 мм від кромки зачищають до металевого блиску поверхню деталі. Накладку виготовляють із сталі товщиною 1,5...2,5 мм, вона повинна перекривати пробойну на 40...50 мм. Свердлять в ній отвори діаметром 6...8 мм на відстані 50...60 мм по периметру пробойни, центри яких повинні бути на відстані 10 мм від країв латки. Потім по латці, як шаблону, свердлять в деталі отвори діаметром під різьбу М6 або М8 і нарізають відповідний розмір різьби М6×1 або М8×1.

Зачищають до металевого блиску латку, знежирюють її і поверхню деталі ацетоном, просушують 3...5 хв. Потім наносять на них шар епоксидного клею врівень головок гвинтів, який твердне при температурі 20°С протягом 1...3 діб, при нагріванні до 60...80°С – 12...16 год, а при 100°С – 2...3 год. Після затвердіння місце заклеювання зачищають від напливів клею і перевіряють якість усунення тріщин і пробойн.

**Відновлення отворів корпусних деталей і нерухомих спряжень вальниць кочення епоксидним клеєм.** Цей спосіб значно спрощує технологічний процес – виключає температурний вплив на деталь, знижує трудомісткість і собівартість порівняно з механічними способами відновлення поверхонь і спряжень.

Технологічна послідовність процесу. Зношені посадочні місця під вальниці кочення корпусних деталей зачищають до металевого блиску, знежирюють ацетоном, просушують 5 хв і вдруге знежирюють. Після висихання на зношені поверхні посадочних місць шпателем наносять епоксидну клейову суміш в частинах: епоксидна смола (ЕД-16) – 100, отверджувач (ЛІ-19) – 30, наповнювач (металевий порошок) – 120.

Корпусну деталь з нанесеним шаром клею тримають 1...2 год при кімнатній температурі, потім шар клею покривають графітом. Далі проводять такі операції: корпусну деталь встановлюють на плиту-пристосування (рис. 3.62) і на пресі або вертикально-свердильному верстаті (без обертання шпинделя) калібрують отвори



посадочних місць в розмір калібрувальними оправками, в яких робочі циліндричні поверхні змащені солідолом. Після калібрування отворів проходить твердіння шару клею при температурі 18...20°C – 5 годин, при 60...80°C – 2...1,5 годин. Напливи епоксидної клейової суміші знімають зубилом і шабером.

Калібрувальну оправку виготовляють зі сталі 45, яку гартують, одержуючи при цьому твердість HRC 45. Робочі циліндричні поверхні шліфують, припуск на розмір повинен урахувувати усадку епоксидного клейового шару і товщину шару солідолу (0,005...0,01 мм).

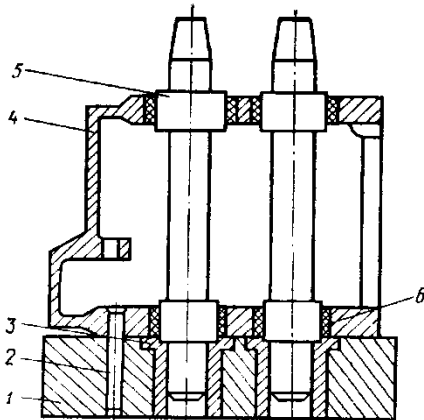


Рис. 3.62 – Схема формування посадочних місць вальниць корпусу коробки передач:  
 1 – плита; 2 – штифт;  
 3 – втулка; 4 – корпус;  
 5 – калібрувальна оправка;  
 6 – шар епоксидного складу

Для відновлення нерухомих спряжень “вальниця кочення – гніздо” або “вальниці кочення – вал”, в яких натяг перейшов у зазор, але не більше 0,03...0,05 мм, застосовують епоксидну клейову суміш без наповнювача. Для цього зовнішні поверхні кілець і посадочні місця деталей очищають від бруду, зачищають до металевого блиску, знежирюють і просушують протягом 10 хв. (при необхідності вдруге знежирюють).

На підготовлені поверхні наносять клейову суміш в частинах: епоксидна смола (ЕД-16) – 100, дибутилфталат (пластифікатор) – 10...15, поліетиленполіамін (затвердник) – 8 частин. Витримують 8...10 хв

при кімнатній температурі, встановлюють вальниці в гніздо (на вал), знімають напливи і термообробляють клейову суміш при температурі 18...20 °C 12...24 год., при 60...80 °C – 2...4 год.

При ремонті нерухомих спряжень надійно закріплюють вальниці кочення і усувають ковзання в гнізді і на валу герметики марки 6Ф, ТЕН-150.

Аналогічно відновлюють (закріплюють) нарізні з'єднання, в яких зазор 0,15...0,20 мм, епоксидною клейовою сумішшю без наповнювача, а при великих зазорах – до 0,30 мм – в клейову суміш вводять наповнювач (цемент).

**Приклеювання фрикційних накладок** – для цього сталеві диски муфт зчеплення (запобіжних) і гальмові колодки (стрічки) промивають у 10%-му розчині каустичної соди, потім – у гарячій воді і сушать, якщо диски (колодки) старі. Поверхні дисків (колодок), які підлягають склеюванню з фрикційними накладками, зачищають і знежирюють ацетоном. Наносять на підготовлені місця дисків (колодок) і фрикційних накладок перший шар клею ВС-10Т завтовшки до 1 мм і витримують 20...30 хв. Після цього наносять другий шар і стискають з'єднані деталі в спеціальних пристосуваннях до 0,4 МПа. З'єднані деталі разом з пристроєм вміщують у термопіч і витримують 1,5...2 год. при температурі 170...190°C, потім повільно охолоджують. Після охолодження диски (колодки) очищають від напливів клею.

**Відновлення деталей у псевдозрідженому (киплячому) шарі капрону.** Деталь очищають від бруду і знежирюють ацетоном зношені місця.

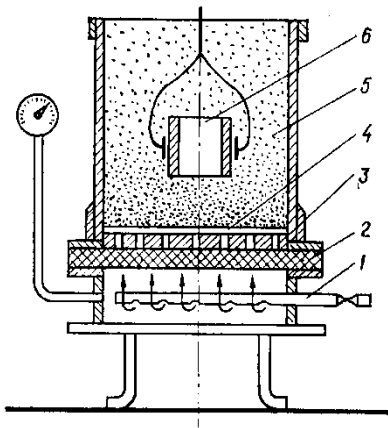


Рис. 3.63 – Схема напильовання у киплячому шарі: 1 – трубопровід; 2 – порожниста перегородка; 3 – сталева пластина з отворами; 4 – тканина; 5 – камера; 6 – відновлена деталь

Ізолюють поверхні, на які не треба наносити полімери, застосовуючи рідке скло, фольгу, азбест, отвори закривають пробками.

Деталь нагрівають до температури 280..320 °С, вище температури плавлення полімеру на 50...80°C. Потім її вставляють у камеру спеціальної установки, де частинки полімерного порошку розміром 0,1...0,2 мм знаходяться у «киплячому стані». Торкаючись поверхні нагрітої деталі, частинки розплавляються і покривають

зношені поверхні рівним шаром товщиною до 1,2...1,5 мм. Кипіння досягають подаванням у камеру порошку нейтрального газу (азоту чи вуглекислого газу) тиском 0,1...0,2 МПа. Тривалість процесу напилювання – 10...20 с (рис. 3.63).

**Газополуменеve напилювання полімерів ПФН-12, ТПФ-37 та ін.** Застосовують для зарівнювання вм'ятин на облицюванні кабін, нанесення антикорозійних покриттів, поліетелену та ін.

Відновлювану поверхню очищають від бруду, іржі піскоструменевим способом з наступним обдуванням стисненим повітрям 0,2...0,3 МПа і знежирюванням ацетоном (уайт-спирітом). Дрібний порошок полімеру під тиском повітря 0,3...0,4 МПа надходить у полум'я газового пальника, яке попередньо нагріває поверхню деталі до 230...250 °С. Порошок розм'якшується в полум'ї пальника і стисненим повітрям подається на нагріту поверхню, де розплавляється (спікається з деталлю). Сопло пальника розміщують на відстані 70...140 мм від поверхні деталі, ширина смуги наплавлення за один прохід пальника 25...40 мм, швидкість пересування пальника – 1,5...2,0 м/хв.

**Анаеробні клеї** – це однокомпонентні матеріали, які твердіють при кімнатній температурі за умови відсутності контакту з киснем. Рідкий компонент затвердіння залишається неактивним до тих пір, поки він знаходиться у контакті з атмосферним киснем. Якщо клей позбавлений доступу атмосферного кисню, наприклад, при з'єднанні деталей, відбувається швидке затвердіння – особливо при одночасному контакті з металом. Це затвердіння може бути представлене таким чином: при припиненні надходження атмосферного кисню формуються вільні радикали під дією іонів металу (*Cu*, *Fe*), ці вільні радикали сприяють початку процесу полімеризації.

Капілярний ефект дозволяє проникати анаеробним клеям навіть в дуже маленькі зазори. Затверділа склеювальна речовина "уклинюється" в шорсткі поверхні деталей. Процес полімеризації також стимулюється контактом клеїв з металевими поверхнями, виступаючими як каталізатор. Оскільки пасивні матеріали мають нульовий або мінімальний каталітичний ефект, то для прискорення і досягнення остаточної полімеризації потрібні активатори. 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 клеї мають такі властивості: дуже висока міцність, добра термостійкість (від  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $+250^{\circ}\text{C}$ ), швидке затвердіння, легкість нанесення автоматичним дозатором, оскільки вони однокомпонентні, не потрібна фінішна обробка частин; допустима шорсткість поверхні 8 - 40 мкм ( $R_a$ ), одночасний ефект герметизації і високої хімічності, добра вібростійкість та стійкість до динамічних навантажень при постійній дії кисню клей залишається в рідкому стані. При попаданні клеїв в зазор припиняється надходження кисню, пероксиди перетворюються у вільні радикали, вступаючи в реакцію з іонами металу. Вільні радикали стимулюють формування полімерних ланцюжків. Затверділий стан є твердою структурою із зшитими полімерними ланцюжками. Швидкість затвердіння анаеробних продуктів, головним чином, залежить від типу склеювання поверхонь, величини зазору між деталями

**Анаеробні герметики.** Рідкі ущільнювачі, або анаеробні герметики використовуються для герметизації пор литва і зварних швів, ущільнення плоских роз'ємних з'єднань, фіксації гладких циліндричних з'єднань, а також контрення нарізних трубних з'єднань. Область застосування рідких ущільнювачів і фіксаторів украй широка: це і будівництво, і автомобільна промисловість, і ремонт різноманітного устаткування.

До групи фіксаторів і ущільнювачів відносяться анаеробні клеї, цианокрилатні клеї, силіконові герметики. Позитивні якості, які мають рідкі ущільнювачі і фіксатори, очевидні: це широкі можливості застосування, мінімальні витрати, стійкість до деформацій і повна герметизація (рис. 3.64).



Рис. 3.64 – Схема застосування анаеробних герметиків для нарізних з'єднань

**Анаеробні клеї** для посадочних з'єднань (втулок, вальниць і ін.) Використовуються для фіксації ковзних з'єднань – вальниць, заглушок, шестерень, втулок і інших видів з'єднання металевих поверхонь (рис. 3.65).



Рис. 3.65 – Схема застосування анаеробних клеїв для посадочних місць

Посадка з натягом при з'єднанні деталей вимагає дорогої механічної обробки з жорсткими допусками, важкого пресового устаткування. При складанні виникають напруження, деформація валів, втулок, підвищується відсоток браку. Використання анаеробних герметиків дозволяє перейти на посадку із зазором, відмовитися від накатки валів при одночасному збільшенні границі міцності на зсув.

**Анаеробні клеї для фланцевих з'єднань і трубних нарізей.** Звичайні засоби ущільнення (механічні, пристосування з металу, гуми і ін.), 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. Анаеробні герметики в чистому (матеріалом ущільнювача є тільки анаеробний герметик) або комбінованому (при нанесенні складу на металеву прокладку) вигляді забезпечують ущільнення, що витримує тиск газів до 40, рідин до 60 МПа, трясіння, вібрацію (рис. 3.66).



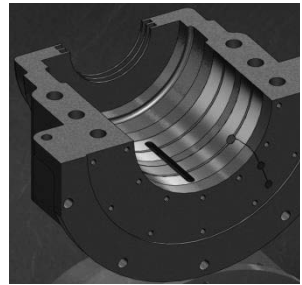
Рис. 3.66 – Схема ущільнення трубних нарізей і фланцевих з'єднань анаеробними клеями

**Акрилові клеї.** Ці клеї призначені для склеювання і герметизації плоских і гладких циліндричних з'єднань. Акрилові клеї відрізняються великою швидкістю затвердіння і високою міцністю при відриві

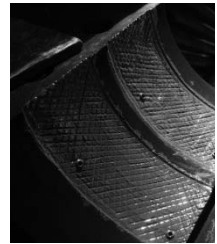
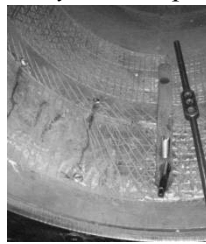
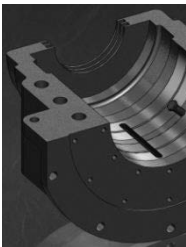
Застосовуються для склеювання різних матеріалів: металу, скла, багатшарового скла, кераміки, пластмаси.

Клеї є в'язкі однорідні рідини, здатні тривалий час залишатися в початковому стані, а в присутності кисню повітря і швидко твердіють у вузькому зазорі між склеюваними поверхнями з утворенням міцного клейового з'єднання.

**Просочуючі сполуки** для ліквідації течі в зварних швах, литві, прокаті, металокераміці Анаеробні герметики застосовуються для усунення мікрodefektів (пор, тріщин) в місцях зварювання деталей, виготовлених з прокату, литва або пресуванням. Для цієї мети використовуються низьков'язкі герметики (в'язкість 10 - 20 МПа). За наявності дефектів більше 0,07 мм можливе комбіноване просочення. Вироби, заздалегідь просочені низьков'язким герметиком, ущільнюються додатково герметиком з в'язкістю до 200 МПа (рис. 3.67).



*до застосування герметику*



*після застосування герметику*

Рис. 3.67 – Застосування анаеробних герметиків для усунення дефектів тріщин

**Еластomers** Для відновлення гумової поверхні, а також усунення її дефектів використовують еластomers. Найбільш зрозуміле пояснення слову «еластomers» дає тлумачний словник: це полімери, що мають при звичайних температурах високоеластичні властивості, тобто, здатні до величезних оборотних деформацій розтягування. Типові еластomers – каучук і гума. Ті ж еластomers, про які ми говоримо, є двокомпонентними («база» – «затверджувач») рідкими (90ф, 75ф) матеріалами і тиксотропними пастоподібними (90т, 75т) матеріалами на основі гуми хімічного затвердіння з каучуковими і волоконними наповнювачами. Завдяки своїй будові еластomersи дуже швидко повертаються в початковий стан – тобто, мають велику еластичність. 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 відносяться до матеріалів багатоцільового призначення. Крім вже вказаних функцій: відновлення устаткування, ремонт 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 еластomersів. Крім цього, еластomersи прості в застосуванні – головне, правильно підготувати поверхню, на яку наноситиметься еластomer. Рідкі еластomersи наносяться щіткою, пастоподібні – шпателем, причому, наносяться тільки на ретельно очищену і знежирену поверхню, на якій не повинно бути ніяких домішок. Після нанесення еластomersи висихають приблизно за 20 хв.

**Відновлення кульових з'єднань за технологією SJR.** Система безрозбірного ремонту кульових з'єднань була розроблена для відновлення передньої підвіски і рульового управління всіх типів транспортних засобів, щоб підтримувати їх в працездатному і легко керованому стан (рис. 3.68). Дана технологія дозволяє механіку відновити майже всю рульову тягу, наконечники, кульові опори і т.д., що входять в систему рульового управління і може використовуватися майже у всіх ремонтних майстернях для відновлення не повністю зношених вузлів. У вузол запресовують спеціальний полімер, який поставляється у вигляді готових стрижнів і склад якого розроблений

так, що він витримує високий тиск (1300 кг/см<sup>2</sup>), близько 130 МПа. Цей матеріал призначений для поглинання динамічної дії і тертя, мастило на нього не впливає, і він гарантує пробіг до 100 000 км.

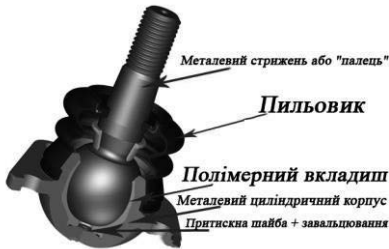


Рис. 3.68 – Схема ремонту кульових з'єднань

Розплавлений полімер подається у вузол через змащувальний отвір (якщо його немає, то отвір свердлиться і нарізується нарізь для переходника) під високим тиском (100 атм) за допомогою спеціального пристосування (рис. 3.69).



Рис. 3.69 – Комплект приладів безрозбірного ремонту кульових з'єднань

Після запресування полімер стає ідеальною втулкою (вкладишем), здатною до високого стиснення, відповідає властивостями мастила, а також поглинає тертя. Полімер займає той простір, де зазвичай і відбувається зношування, яке створює люфт (внутрішній зазор), а запресований полімер повністю підтримує кульові наконечники усередині кульової опори (усередині вузла) і може займати майже половину об'єму по діаметру. На одному і тому ж вузлі можна проводити ремонт неодноразово.



### 3.10 Слюсарна обробка

**Слюсарною** називається обробка, що виконується ручним інструментом або машиною ручної дії.

Слюсарні роботи складаються з різноманітних технологічних операцій: правки та згинання металу, розмітки поверхонь, різання металу, нарізування нарізі, клепки, шабріння, склеювання тощо.

#### **Відновлення нарізних отворів спіральними вставками.**

Процес відновлення несправних нарізних отворів полягає в розсвердленні зношеної нарізі в деталях, нарізанні нової нарізі під спіральну вставку, установці спіральної вставки (рис. 3.70) та видаленні технологічного повідця.

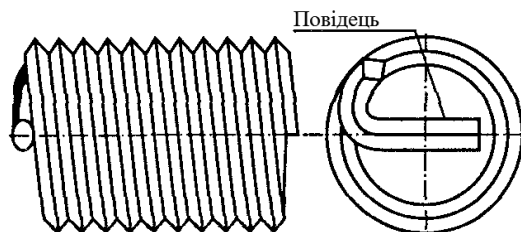


Рис. 3.70 – Спіральна вставка

Розміри отворів для нарізування нарізі під спіральні вставки наведено у табл. 3.15.

Таблиця 3.15 – Розміри отворів для нарізування нарізі під спіральні вставки

<b>Розмір зношеної нарізі</b>	<b>Діаметр розсвердленого отвору, мм</b>	<b>Розмір нарізі під спіральну вставку</b>
M8	8,70...8,86	M10×1,25
M10	10,45...10,62	M12×1,50
M12	12,18...12,38	M14×1,75
M14	13,10...13,23	M16×2,00
M16	16,20...16,40	M18×2,00
M18	18,10...18,40	M20×2,50
M20	20,10...20,40	M22×2,50

Нарізь в отворах нарізають на глибину, яка була до розсвердлювання.

**Відновлення тріщин фігурними вставками.** Сутність процесу полягає у виготовленні вздовж і впоперек тріщин спеціальних пазів, у які встановлюють фігурні вставки, виготовлені з низьковуглецевої сталі у вигляді циліндрів, з'єднаних між собою перемичками (рис. 3.71). Форма паза відповідає формі вставки і є рядом циліндричних отворів, з'єднаних між собою пропилом, по ширині рівним ширині перемички вставки.

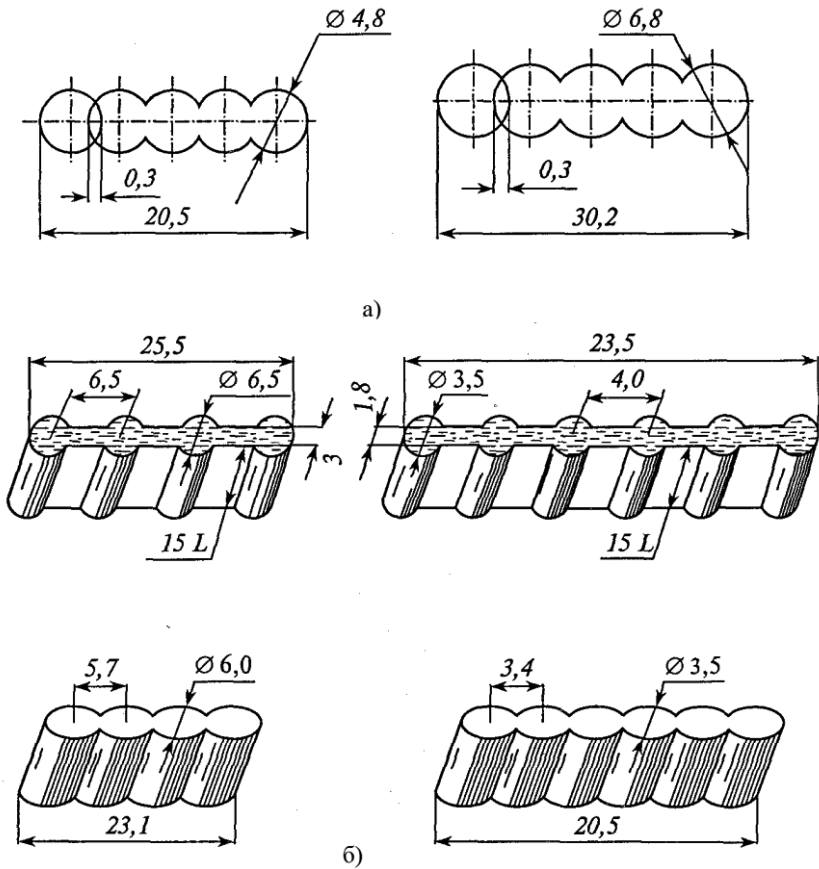


Рис. 3.71 – Фігурні вставки: а – ущільнювальні; б – стягувальні

Відновлюються деталі з тріщинами шириною до 0,3 мм, розташованими на площинах розміром не менше ніж 50×50 мм на відстані не менше, ніж 25 мм від краю.

Технологічний процес відновлення деталей включає підготовку фігурного паза, запресування в нього фігурної вставки, зачистку відремонтованої ділянки, перевірку якості відновлення і покриття епоксидним складом.

При підготовленні фігурного паза по кондуктору перпендикулярно до тріщини свердлять шість отворів (по три з кожного боку тріщини) діаметром 3,5 мм, глибиною 10 мм, кроком 4,2 мм. Потім спеціальним пробійником шириною 1,8 мм видаляють перемички між просвердленими отворами, в паз запресовують фігурну вставку і зачищають цю ділянку врівень.

Технологічним оснащенням передбачено, що крок між циліндрами вставки менше кроку між отворами паза на 0,2 мм, що підвищує надійність стягування тріщини.

Застосування механізації забезпечує високу продуктивність та низьку собівартість цього процесу.

**Відновлення тріщин штифтуванням.** Штифтуванням усувають тріщину такими способами: з маловуглецевої сталі або латуні (бронзи) виготовляють нарізні штифти діаметром 4-6 мм, довжиною на менше товщини стінки деталі. Потім зачищають ділянки до металевого блиску по обидва боки тріщини, розміщують центри отворів під штифти таким чином, щоб кожен штифт перекривав сусідній приблизно на 1/3 діаметра, за розміткою накернюють місце для першого штифта, свердлять отвір, нарізають нарізь, закручують штифт, торець його зачищають в рівень з поверхнею деталі. Наступні штифти встановлюють в послідовності, як показано на рис. 3.72.

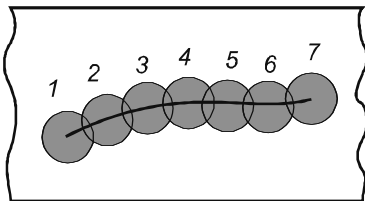


Рис. 3.72 – Схема усунення тріщин штифтами

Для надійної герметичності перед установкою штифтів доцільно їх знежирити і покрити епоксидним клеєм. Після установки верхні кінці штифтів зачищають і покривають епоксидним клеєм.

**Усунення тріщин і пробоїн постановкою латок** – ціль відновити герметичність корпусних деталей – картерів. Для цього визначають границі тріщини (пробоїни) і навколо їх на відстані 20-30 мм зачищають поверхню до металевого блиску, свердлять отвори навколо тріщини або пробоїни під нарізь М4-М6 на відстані 10...15 мм від кромки наскрізь і нарізають нарізь по місцю тріщини (пробоїни). Із тонкого картону або креслярського паперу виготовляють зразок латки, а по ньому – латку із маловуглецевої сталі (копіру) або латунного (мідного) листа товщиною 1,5...2,5 мм, поверхню деталі під латку продувають стисненим повітрям, знежирюють поверхню і латку, покривають їх епоксидним клеєм та притискають латку до деталі болтами (гвинтами), місце розташування болтів та кромки латки покривають шаром клею.

Для відновлення гарантованої герметичності можна використати замість епоксидного клею брезентову прокладку та герметизуючу змазку або фарбу – сурик. Перед установкою поверхні спряження деталі, прокладки і латки покривають мастилом або суриком.

### **3.11 Термічна, кріогенна та хіміко-термічна обробки**

**Термічною** називається обробка, що полягає у зміні структури та властивостей матеріалу деталі внаслідок теплових впливів.

**Кріогенною** називається обробка, що полягає у зміні структури та властивостей матеріалу деталі внаслідок дії холодом.

**Хіміко-термічною** називається обробка, що полягає у зміні хімічного складу, структури та властивостей поверхневого шару деталі шляхом збагачення його різними хімічними елементами.

Різні способи термічної та хіміко-термічної обробок в області відновлення деталей за призначенням можна розділити на такі групи.

1. **Зміцнювальна обробка** – проводиться для підвищення міцності, зносостійкості, пружності тощо (загартування та кріогенна обробка).

**Загартування** – операція, при якій доєвтектоїдну сталь нагрівають на 20...30°C вище  $A_{C3}$ , а евтектоїдну і заєвтектоїдну сталі – на 20...30°C вище  $A_{C1}$  і після витримки при цій температурі швидко охолоджують у воді, оліві або на повітрі залежно від складу сталі.

Вказаною обробкою можна значно підвищити динамічну та втомну міцність шарів, яка особливо низька після дугового наплавлення.

Поверхнєве загартування наплавленого металу дозволяє в 2-4 рази підвищити зносостійкість і втомну міцність за рахунок підвищення твердості і зняття небажаних залишкових напружень (розтягнення). Досить поширене поверхнєве загартування з нагріванням СВЧ. Вплив загартування СВЧ на твердість наплавленого шару наведено у табл. 3.16.

Таблиця 3.16 – Вплив загартування СВЧ на твердість наплавленого шару

Спосіб наплавлення	Матеріал основи та наплавлення	Твердість основного і наплавленого металу, НВ	
		після наплавлення	після загартування
Дугове наплавлення під флюсом АН-349А	Основа – сталь 45		
	Наплавлення Нп-30ХГСА	270	560
	Нп-70	242	645
Дугове наплавлення в середовищі водяної пари	Наплавлення Нп-20ХГСА	210	550
	Нп-70	192	605
Дугове наплавлення в середовищі CO <sub>2</sub>	Наплавлення Св-08Г2С	190	400
	Св-18ГСА	252	555
	Нп-30ХГСА	260	565
Дугове наплавлення в потоці повітря	Наплавлення Нп-30ХГСА	295	565
	Нп-70	250	645

Кріогенна обробка (зазвичай у рідкому азоті) може застосовуватися для деталей з високовуглецевих і легованих сталей, у структурі яких є деяка кількість порівняно м'якого залишкового аустеніту (наприклад, плунжерні пари, поршневі пальці та ін.).

Розпад залишкового аустеніту і перетворення його на мартенсит відбуваються у певному інтервалі температур. Температури початку та кінця мартенситного перетворення для вуглецевої сталі наведені в табл. 3.17.

Кріогенна обробка дозволяє підвищити твердість сталей на 1-10 одиниць *HRC*, а зносостійкість – у кілька разів. Зміцнюючими є всі види хіміко-термічної обробки.

В якості характеристик ефективності прийняті відношення коефіцієнтів тертя  $\Psi$ , навантаження заїдання  $P$  та зносостійкості  $K$  оброблених поверхонь до тих же величин, отриманим для необроблених поверхонь ( $\Psi_0, P_0$  і  $K_0$ ).

Таблиця 3.17 – Температури початку та кінця мартенситного перетворення вуглецевої сталі

Вміст вуглецю, %	Початок перетворення, °C	Кінець перетворення, °C
0...0,3	350	200
0,3...1,17	180	-140

Дуже перспективними є способи хіміко-термічної обробки, в яких поєднуються операції зміцнення деталей та відновлення їх розмірів, наприклад, термодифузійне титанування.

Карбіди титану мають високу мікротвердість (до 5000 МПа) та корозійну стійкість. Титанування проводиться газовим методом із застосуванням порошків такого складу, %: феротитан – 70, оксид алюмінію – 27, хлористий амоній – 3. Час нагрівання контейнера до 1100°C – 4 год, витримка при цій температурі – 6 год. Товщина нарощуваного шару залежить від вмісту вуглецю в сталі. Її цілком достатньо для відновлення (з урахуванням припуску на доведення) всіх прецизійних деталей паливної апаратури.

Мікротвердість поверхні всіх дослідних деталей становила 2700...3200 МПа, що у 3-4 разу вище, ніж серійних.

## 2. Поліпшення оброблюваності та зняття внутрішніх напружень

**Відпал** – нагрівання сталі до заданої температури, витримка при цій температурі та подальше повільне охолодження. У процесі відпалу покращуються механічні властивості та вирівнюється

хімічний склад сталі; зменшуються залишкові деформації; готуються структури сталі для подальшої термічної обробки; змінюються властивості наклепаного металу.

Розрізняють такі види відпалу: рекристалізований, повний, неповний, відпал на зернистий перліт (сфероїдизація), ізотермічний, низькотемпературний, дифузійний (гомогенізація).

**Нормалізація** – процес нагрівання сталі на 30...50°C вище  $A_{c3}$ , витримка при цій температурі і подальше охолодження на спокійному повітрі.

**Відпуск** – процес нагріву і витримки загартованої сталі при температурі на 20...30°C нижче критичної точки. Під час відпуску відбуваються перетворення мартенситу і залишкового аустеніту, внаслідок чого зменшуються внутрішні напруження і крихкість, підвищуються в'язкість і пластичність.

За умовами нагрівання розрізняють відпуск високий, низький, середній. При високому відпуску, коли температура нагріву достатньо висока, сталь набуває сорбітової структури. Для конструкційної сталі температура сорбітизації знаходиться в межах 450...670°C. У процесі високого відпуску загартовану сталь, охолоджену до температури нижче 300°C, не слід поміщати в піч з високою температурою, оскільки швидке нагрівання може призвести до розтріскування. При низькому відпуску температура нагрівання обмежена необхідністю збереження високої твердості.

**3. Відновлення розмірів зношених деталей.** Ці процеси ґрунтуються на структурних перетвореннях – збільшенні розмірів чавунних деталей при розпаді цементиту на графіт і ферит, зміні розмірів точних поверхонь деталей з високолегованих сталей при розпаді залишкового аустеніту тощо. За допомогою теплових деформацій при газополум'яному нагріванні можна відновлювати корпусні деталі. Для деталей із кольорових металів прийнятний термодифузійний спосіб.

Для відновлення поршневих пальців використовується гідротермічна роздача – нагрів зовнішньої поверхні пальця з наступним охолодженням внутрішньої.

Певний інтерес для ремонтного виробництва викликає термоциклічна обробка (ТЦО) сталей та чавунів. Вона полягає у багаторазовому впливі операцій нагрівання та охолодження на метал і дає можливість підвищити рівень міцності металевого матеріалу. При

швидких нагріваннях і охолодженнях різні структурні складові металу, маючи різні теплопровідності, теплоємності, коефіцієнти розширення, температурні властивості, властивості міцності, зазнають внутрішнього мікропластичного деформування, яке викликає збільшення щільності дислокацій, полів ковзання та інших видів мікрodefektів, що зміцнюють матеріал. Всі способи термоциклічної обробки сталей і чавунів можна умовно розділити на низько- та високотемпературні. При низькотемпературних способах ТЦО метал нагрівають до температури дещо нижче початку поліморфного  $\alpha \rightarrow \gamma$ -перетворення без участі в структурних змінах фазових перетворень. Середньотемпературні термоциклічні обробки передбачають нагріви в область двофазного та проміжного стану, тобто, в область температур між точками  $A_{C1}$  та  $A_{C3}$ . При високотемпературних ТЦО нагрівання здійснюють до повного фазового перетворення (вище за точку  $A_{C3}$ ). Названі три групи способів ТЦО охоплюють всі існуючі і створювані способи ТЦО.

ТЦО усуває внутрішні напруження в металі, стабілізує структуру, а також багатократно подрібнює зерно металу. ТЦО може застосовуватися для відновлення розмірів окремих деталей, наприклад гільз циліндрів двигунів.

### 3.12 Лазерна та світлопроменева обробка

3.12.1. **Лазерна обробка.** Лазерне випромінювання, маючи унікальні властивості, дозволяє сконцентрувати на поверхні оброблюваного матеріалу енергію при густині потужності від гранично малих до  $10^{17}$  Вт/см<sup>2</sup>. Причому цю енергію можна передавати матеріалу безконтактно, швидко і суворо дозовано. Локальність теплових процесів, що відбуваються в поверхневому шарі за таких умов опромінення, забезпечує високі ( $\nu=10^6 \dots 10^8$ °C/с) швидкості нагрівання та охолодження, які не досягаються при використанні традиційних методів термічної обробки. Такі особливості теплових процесів зумовлюють широкі можливості лазерної обробки.

Керуючи інтенсивністю лазерного опромінення, можна реалізувати три основні групи процесів у поверхневому шарі оброблюваного матеріалу: нагрівання до температур, що не перевищують температури плавлення, але достатніх для структурно-



фазових перетворень; нагрівання до температур, що перевищують температуру плавлення, але нижче за температуру випаровування; інтенсивне випаровування поверхні,

Ефекти, які виникають у поверхневому шарі оброблюваного матеріалу при протіканні цих трьох основних процесів, стали основою для розробки низки методів лазерної обробки матеріалів, спрямованих на відновлення розмірів зношених деталей машин і на підвищення їх експлуатаційних характеристик (рис. 3.73).

Технологічні переваги використання лазерного випромінювання – мінімальна деформація деталі, відсутність прямого контакту джерела енергії з виробом, можливість обробки важкодоступних місць, можливість автоматизації процесу обробки, екологічність використання процесу. Лазерна поверхнева обробка має особливі переваги в умовах одиничного, або малосерійного виробництва, коли швидко змінюється номенклатура виробів, коли на виробництві є потреба в технологічній сумісності з гнучкими виробничими та роботизованими системами.

Використовування лазерної технології дозволяє відновлювати фізико-механічні властивості (зміцнювати поверхню та заплавляти тріщини) поверхонь деталей, нарощувати зношений шар, а також здійснювати зварювання і різання. Найважливішою особливістю лазера є його здатність створювати дуже високу густину світлової потужності - порядку  $10^9$  Вт/см<sup>2</sup> і вище, а також регулювати розмір і положення світлового променя на виробі за допомогою дзеркал і фокусуєчих лінз.

Діаметр фокусуєчого променя може коливатися від 0,01 до 10 мм, і переміщуватися по запрограмованих траєкторіях будь-якої складності. Крім того, промінь не ослаблюється повітрям і може передаватися на великі відстані, він не викликає проникаючої радіації, тому захист від випромінювання дуже простий - екраном може служити звичайне оргскло.

Установки, що створюють густину потужності  $P \leq 10^5$  Вт/см<sup>2</sup>, використовуються для термічної обробки,  $10^5 \leq P \leq 10^7$  Вт/см<sup>2</sup> – для зварювання і наплавлення,  $P \geq 10^8$  Вт/см<sup>2</sup> - для різання і прошивки отворів (рис. 3.74). При потужності  $P \geq 10^9$  Вт/см<sup>2</sup> ККД різко знижується внаслідок взаємодії випромінювання з продуктами випаровування матеріалу із зони обробки. Швидкість нагріву металу становить  $\geq 10^3$ - $10^8$  °C/с і вище.

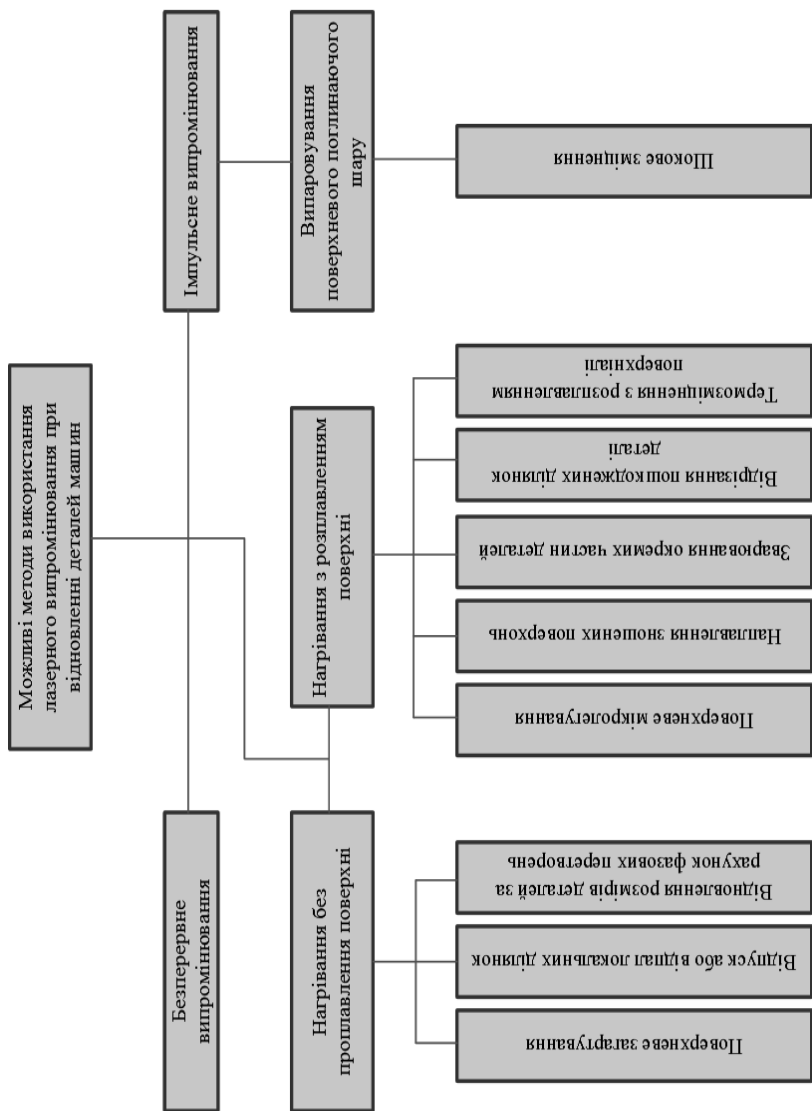


Рис. 3.73 – Класифікація можливих методів застосування лазерної обробки під час відновлення деталей

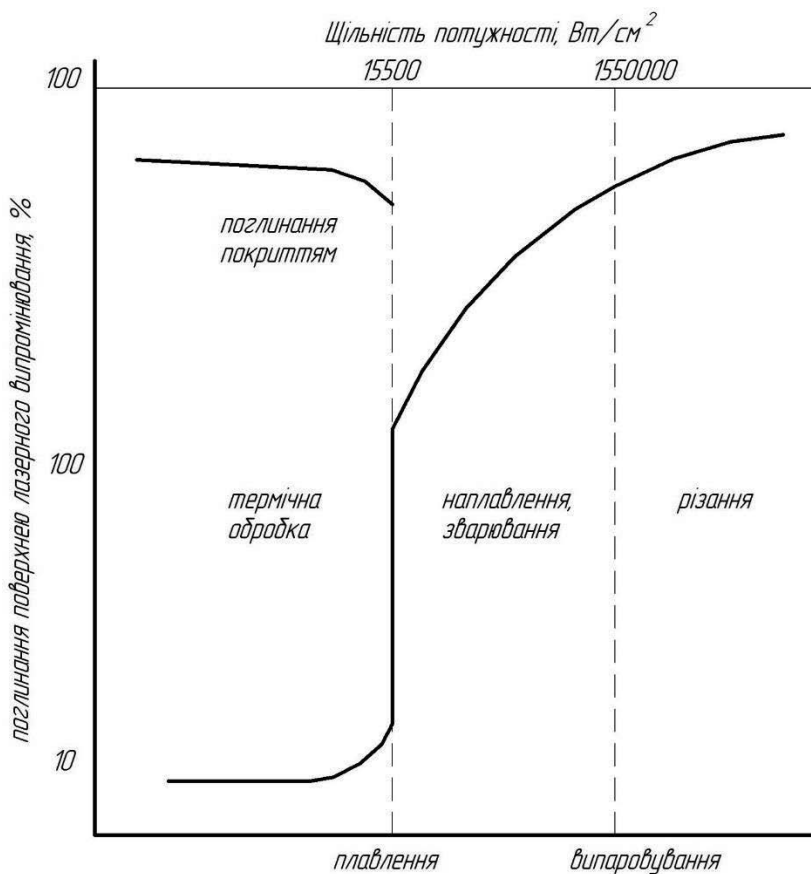


Рис. 3.74 – Сфера застосування лазерної технології в залежності від густини потужності потоку

Лазери бувають твердотільні і газові – CO<sub>2</sub>. Твердотільні частіше всього застосовують на допоміжних операціях, а також при обробці малогабаритних деталей. Як активне середовище в них використовують тверді тіла: рубін, спеціальне скло алюмонатрієвий гранат і ін. Установки прості в експлуатації і надійні, але їх ККД не перевищує 3%.

У газових (CO<sub>2</sub>) лазерів безперервної дії вище ККД (5-10%), а також потужність випромінювання, їх енергетичні параметри здатні змінюватись в широких межах. Такі лазери найбільш перспективні для експлуатації в машинобудуванні.

Порівняння показують, що можливості концентрації міцності та густини лазерного випромінювання в просторі і часі – є найбільш сприятливими для локальної поверхневої обробки матеріалів.

*Матеріали, що використовуються для відновлення деталей лазерним променем.* Лазерна технологія передбачає відновлення зношених ділянок з нанесенням покриттів за один прохід на глибину до 1-3 мм. Зазвичай, для наплавлення використовують порошки з чистих металів та двох – або багатокомпонентні суміші (порошки хрому, бору, нікелю та ін.). Порошок сплавляється з основним металом, а швидке твердіння дозволяє отримати однорідну структуру поверхневого шару. Розрізняють дві технології нанесення матеріалу при лазерному наплавленні: 1 – заздалегідь наносять на поверхню у вигляді обмазки, фольги чи іншим методом або; 2 – подають за допомогою дозатора в робочу зону лазерного випромінювання.

Традиційно більш досліджений та впроваджений метод з нанесенням матеріалу на поверхню деталі у вигляді обмазки, фольги. Як зв'язуюче середовище використовують клейовий склад (водний розчин етилцелюлози (ОЕЦ) або карбоксиметилцелюлози (КМЦ) з розрахунку 0,8-20,0 г/л при температурі 75°C).

Порошки для нанесення покриттів можна подавати за допомогою дозатора. При цьому витрата їх зростає в 5-6 разів і погіршуються фізико-механічні властивості покриття..

При нанесенні покриттів необхідно враховувати гранулометричний склад. Оптимальною є наступна суміш: 10% частинок розміром 40-100 мкм, 80% - частинок розміром 100-280 мкм і 10% – більше 280 мкм. У зв'язку з тим що суміш для обмазки наносять тільки на відновлювану поверхню, витрата порошку зводиться до мінімуму. Зона термічного впливу при лазерному наплавленні залежить від маси деталі і не перевищує 0,4 мм. Запобігти загартуванню поверхневого шару при лазерній обробці практично неможливо.

Якість покриття визначається також швидкістю переміщення лазерного променя, його товщиною і перекриттям оброблюваних зон за один прохід.

При відновленні деталей твердість шару у ряді випадків не нижче 60-63 HRC, а міцність зчеплення з основним металом – 250 МПа. Зносостійкість виробів зростає в 2-4 рази у порівнянні з традиційними методами відновлення. Поверхня, після нанесення

покриття, за рахунок поверхневого натягнення, формується рівна чиста і легко обробляється абразивним інструментом.

Окрім порошкових композицій, використовують покриття порошками титану (для деталей з конструкційних сталей) марок: НТК (великозерниста), ПТС (середньозерниста), ПТМ (дрібнозерниста), ПТОМ (дуже дрібнозерниста). Ці порошки містять 98,9-99,0% Ті.

Порошки хрому (ПХ1С, ПХ2С, ПХ1М, ПХ2М) містять 99,5% Сг і використовуються для термодифузійного хромування.

При виборі складу і типу покриття слід враховувати умови експлуатації деталей, вимоги за якістю, що висуваються до них, а також матеріал відновлюваної деталі.

Лазерне технологічне устаткування ефективно для нанесення покриттів площею не більше 50-100мм<sup>2</sup> з товщиною шару 0,8-1,2мм, а також термозміцнення відповідальних ділянок плоских поверхонь циліндричних і складнопрофільних з радіусом кривизни не більше 25 мм.

При нанесенні покриття деталей піддають знежиренню і очищенню від оливи, бруду, частинок металу і ін., миють розчином кальцинованої соди (10-15 г/л) при температурі 80°C протягом 10-15хв. Потім обмивають гарячою водою.

Після повного висихання нанесеного порошкового матеріалу, деталь поволі оплавляють, обертаючи з частотою 1,0-10,0 хв<sup>-1</sup> на кВт потужності випромінювання. Пучок подається в зону обробки, на край ділянки. При цьому утворюється перший валик. Далі включають переміщення оптичної системи, пучок зміщується впоперек оброблюваної поверхні з швидкістю, залежною від потужності випромінювання, ширини пучка і швидкості обробки.

При виході пучка на протилежний край нанесеного покриття подача вимикається і формується заключний вал покриття. Потім деталь шліфують, полірують, промивають і піддають контролю.

В останній час для підвищення технологічності процесу можна використовувати світловоди при транспортуванні лазерного променя.

**Лазерне зміцнення** – процес, при якому тонкий поверхневий шар оброблюваного матеріалу нагрівається до температур вище температури структурно-фазових перетворень (швидкість нагрівання  $(2-3) \times 10^4$  °C/c), після чого охолоджується з надвисокими швидкостями  $(6-8) \times 10^3$  °C/c за рахунок швидкого відведення теплоти в основну масу матеріалу.

Лазерне загартування переважно підпорядковується закономірностям термічної обробки залізобуглецевих сплавів. Однак завдяки великим швидкостям нагріву та швидкому самоохолодженню деталей у зоні впливу лазерного випромінювання формується структура вищої твердості, ніж при термообробці традиційними методами. Твердість більшості вуглецевих і низьковуглецевих сталей, а також чавунів досягає більше *HRC* 60-70, зносостійкість сталей у порівнянні зі зразками після азотування і цементації, підвищується в 3-4 рази, а чавунів – в 7-15 раз.

Висока твердість сталевих деталей обумовлена появою в зміцненому шарі структури мартенситу та підвищеним ступенем тетрагональності.

У чавуні під впливом лазерної обробки виходить складніша структура, наприклад, у феритному ковкому чавуні в місцях контакту ферит-графіт по поверхні зерна графіту утворюється зона розплаву. При охолодженні на їх місці виникає аустеніт, що містить до 1,7% вуглецю, а ближче до центру – аустенітно-цементитна суміш. Збільшення твердості пояснюється, крім того, різким подрібненням зерен фериту, які зменшуються з 90...120 до 8...10 мкм.

Лазерному термозміцненню можна піддавати деталі, відновлені різними методами нанесення покриттів (наплавлення, напилювання, електролітичне осадження та ін), а також оброблені на ремонтні розміри, наприклад, такі деталі як гільза, колінчастий вал, клапани та ін.

Найбільш прості та поширені схеми лазерного термозміцнення деталей при відновленні показані на рис. 3.75.

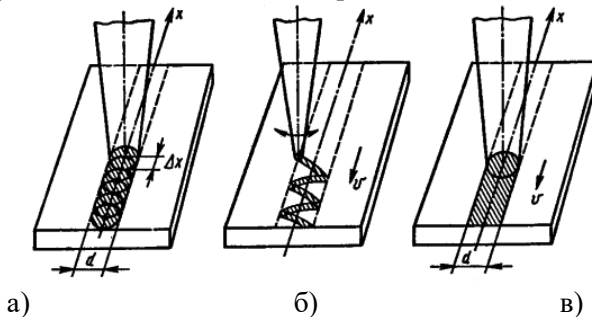


Рис. 3.75 – Схеми лазерного термозміцнення: а – імпульсно-періодичне випромінювання; б – безперервне випромінювання зі скануванням; в – безперервне випромінювання

У більшості випадків необхідним умовам термозміцнення відповідають характеристики випромінювання безперервних лазерів. За допомогою цих систем успішно вирішена більша частина завдань зі зміцнення швидкозношуваних деталей машин і інструменту, які виготовляються з чавунів і сталей різних марок.

Лазерний пучок залишає на поверхні вузький слід у вигляді доріжки зміцнення шириною 2...4 мм. Для зміцнення поверхні немає необхідності заповнювати всю площу слідами лазерного пучка. Оптимальним вважають коефіцієнт заповнення 0,5...0,6.

Схема структури зони термічного впливу після лазерної обробки зображено на рис. 3.76. Найбільш глибоке загартування відбувається в центрі поверхні, оскільки у загальному випадку розподіл потужності по перерізу пучка лазерного випромінювання має вигляд фігури Гауса або форму, близьку до неї.

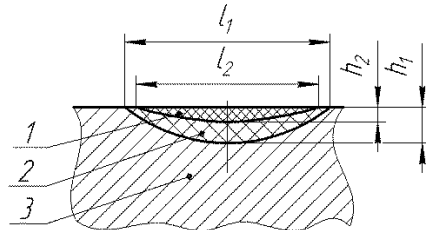


Рис. 3.76 – Схема структури зони термічного впливу при лазерній обробці: 1 – зона зміцнення; 2 – перехідна зона; 3 – основний матеріал;  $l_1$ ,  $h_1$  – ширина та глибина зони термічного впливу;  $l_2$ ,  $h_2$  – ширина та глибина зміцнення

Лазерний відпал або відпуск – процес лазерної обробки, що ґрунтується на використанні випромінювання з відносно низькою густиною потужності ( $10^2...10^3$  Вт/см<sup>2</sup>), що забезпечує швидкість нагрівання та охолодження, що не перевищують критичних значень. Унаслідок опромінення в поверхневому шарі або у всьому об'ємі матеріалу (якщо його товщина співмірна з глибиною зони термічного впливу) утворюється характерна структура відпуску або відпалу.

Даний вид обробки при відновленні деталей можна застосовувати з метою зняття внутрішніх напружень у зварних швах або локального відпалу ділянок поверхні, де можлива концентрація напружень (наприклад, галтелей колінчастого валу).

В окремих випадках в результаті лазерної обробки за рахунок фазових перетворень у структурі дещо збільшуються розміри деталей,

чим можна скористатися при відновленні деталей, що мають знос близько 20...30 мкм на сторону, поєднуючи збільшення розмірів із загартовуванням без подальшого відпуску.

При відновленні деталей доцільно застосовувати способи, обов'язкова умова реалізації яких – наявність ефекту розплавлення матеріалу деталі. Серед них слід виділити поверхневе мікролегування, лазерне наплавлення, зварювання та різання, а також термічне зміцнення з оплавленням поверхневого шару.

**Лазерне мікролегування** полягає в розплавленні за допомогою лазерного випромінювання поверхневого шару оброблюваного матеріалу і введенні в утворений розплав легуючих елементів. Оскільки процес розчинення елементів відбувається при специфічних умовах нагрівання, а утворений розчин охолоджується з великими швидкостями за рахунок теплопровідності, в твердому розчині фіксуються такі концентрації легуючих елементів, які не можуть бути отримані в рівноважних умовах.

У ремонтному виробництві поверхневе мікролегування доцільно застосовувати з метою підвищення зносостійкості та жароміцності поршнів двигунів внутрішнього згорання, тарілок клапанів та клапанних гнізд у головках блоку при відновленні зазначених деталей.

**Лазерне наплавлення** полягає в оплавленні порошку, фольги або дроту, нанесених на виріб попередньо або в момент наплавлення. Для цих цілей може бути використане як імпульсне, так і безперервне випромінювання (останнє краще).

Найбільш доцільно як присадний матеріал при лазерному наплавленні застосовувати порошки на основі клейових складів, які зручно наносити у вигляді обмазки, що дозволяє підвищити ступінь поглинання лазерного випромінювання (до 60...70%) і забезпечити рівномірність прогріву по поверхні, що наплавляється, з мінімальними втратами порошку (менше 1%).

У процесі експлуатації машин нерідко виходять із ладу деталі типу “вал” внаслідок руйнування їхніх хвостовиків чи інших частин, хоча решта деталі перебуває у справному стані.

Як приклад можна назвати такі деталі, як кулачковий вал паливного насоса, первинні вали коробок передач автомобіля та ін. Для заміни зношеної частини деталі доцільно застосовувати **лазерне**



**зварювання**, зона якого не викликає жолоблення деталі в результаті локальності нагріву.

Одним із найбільш перспективних напрямків застосування випромінювання лазерів як з безперервною, так і імпульсною генерацією є **різання матеріалів**. Особливо ефективне різання матеріалів, коли в зону обробки спільно з лазерним променем подається струмінь газу, що сприяє видаленню продуктів руйнування, а в деяких випадках і ініціює хімічну реакцію в місці впливу випромінювання на матеріал (газолазерне різання). У першому випадку використовуються інертні або нейтральні гази (аргон, азот, гелій), у другому – кисень, стиснене повітря.

Операція різання металів необхідна при відновленні ряду деталей робочих органів ґрунтообробних машин (луцильного диска дискових борін, дисків луцильників і сошників, підкопувального лемеша бурякозбиральних комбайнів та ін.).

Різання металів за допомогою лазерного випромінювання має ряд переваг у порівнянні з традиційними (механічними, електрофізичними та ін.) методами розкрою: порівняно малу ширину різу (приблизно 1/5 ширини різу при кисневому або при плазмовому різанні); високі продуктивність процесу та якість поверхні різів, що дозволяє виключити подальшу обробку кромek розрізаних деталей; незначні зони термічного впливу та деформації після обробки; можливість легкої автоматизації процесу.

Крім того, для лазерного різання характерне деяке зниження питомої витрати енергії порівняно з широко застосовуваними методами розкрою контуру. Так, питома витрата енергії на метр виконаного різу становить, кДж/м: при лазерному різанні – 40...70; при кисневому – 100...180; при плазмовому – 70...140.

Разом з тим застосування різання матеріалів лазерним випромінюванням обмежено досягнутим до теперішнього часу рівнем потужності промислових лазерів. На даному етапі найбільш доцільно застосовувати лазерне різання при розкрої листових матеріалів завтовшки 4...10 мм.

Метод лазерного термічного зміцнення з оплавленням поверхні відрізняється від зміцнення без фазового переходу більшими розмірами зони лазерного впливу та більш вираженою неоднорідністю структури поверхневого шару. Структура зони 1 (див. рис. 3.75)

поділяється на дві фази. Зовнішній шар має характерну для загартування з рідкого стану дендритну будову.

Істотним недоліком лазерного зміцнення в режимі оплавлення є порушення вихідної шорсткості поверхні, що не спостерігається при термозміцненні без фазового переходу. Тому, в даному випадку потрібне проведення фінішної механічної обробки – шліфування,

**3.12.2. Світлопроменева обробка.** Світлопроменевою називається обробка, яка здійснюється світловим променем, отриманим від газорозрядних ксенонових, галогенних та інших ламп розжарювання, а також від сонця.

Світлопроменева обробка ґрунтується на впливі на поверхню заготовки сфокусованого електромагнітного випромінювання (світла), енергія якого, перетворюючись у робочій зоні на теплоту, спричиняє нагрівання, плавлення, випаровування та іонізацію парів оброблюваного матеріалу.

Області використання світлопроменевої обробки при відновленні деталі: термозміцнення поверхні, паяння, оплавлення порошкових покриттів; зварювання металу невеликої товщини, зварювання пластмас та ін.

### 3.13 Паяння

**Паянням** називається утворення з'єднання з міжатомними зв'язками шляхом нагрівання матеріалів, що з'єднуються, нижче температури їх плавлення та змочування їх припоєм, затікання припою в зазор і подальшої його кристалізації.

**Припоєм** називається матеріал для паяння з температурою плавлення нижче температури плавлення паяних матеріалів.

Розрізняють низькотемпературну (температура не перевищує 723 К) і високотемпературну (температура вище 723 К) пайки. У першому випадку використовують припої, що є сплавом олова і свинцю в різних пропорціях. Вони позначаються літерами ПОС і випускаються різних марок від ПОС-4 до ПОС-90 (цифра в марці означає процентний вміст олова, решта – свинець і незначна кількість сурми). М'які припої застосовують для з'єднання деталей, від яких не потрібно значної міцності, у ремонтному виробництві найбільш поширені припої ПОС-30 та ПОС-40. Їх використовують при ремонті радіаторів, бензобаків та трубопроводів.

Тверді припої використовують у випадках, коли деталь піддається дії високих температур, і при підвищених вимогах до міцності паяної сполуки. При ремонті машин в основному застосовують мідно-цинкові припої марок ПМЦ-36, ПМЦ-48 та ПМЦ-54 (цифри позначають вміст міді, решта – цинк та незначна кількість свинцю та заліза). Температура плавлення зазначених припоїв відповідно 825, 870 і 885 °С. Межа міцності при розтягуванні 260...300 МПа. Припоєм ПМЦ-36 переважно паяють латунні деталі, ПМЦ-48 – деталі з міді та ПМЦ-54 – деталі зі сталі, чавуну та бронзи. Для паяння деталей із алюмінієвих сплавів використовують тугоплавкі припої на основі алюмінію (силумін, припій марки 34А), а також легкоплавкі припої на основі олова, цинку, кадмію або алюмінію.

Перед паянням деталі ретельно очищують. У процесі паяння застосовують флюси, які розчиняють оксиди на поверхні деталі, покращують змочування матеріалу та розтікання припою. Флюс повинен мати температуру плавлення нижче за температуру плавлення припою. При паянні м'якими припоями використовують рідкі флюси: водний розчин хлористого цинку ( $ZnCl_2$ ) або розчин хлористого цинку з нашатирем (75%  $ZnCl_2$  + 25%  $NH_4Cl$ ). Концентрація таких розчинів знаходиться в межах 25%. При паянні деталей з міді флюсом служить каніфоль, яка усуває корозію в паяному з'єднанні. З мідно-цинковими припоями застосовують тверді флюси: буру ( $Na_2B_4O_7$ ) та її суміші з борною кислотою ( $H_2BO_4$ ). При паянні алюмінію утворюються тугоплавкі оксиди алюмінію, для видалення яких використовують спеціальні флюси, що складаються з суміші хлористих і фтористих сполук металів, наприклад флюс марки Ф320А.

Для паяння застосовуються різні способи нагрівання деталі: індукційний, контактний, паяльником та газополум'яними пальниками.

Паянням з'єднуються тонкостінні металеві частини деталі та проводи (обмотки), які не зазнають великих навантажень, усувають тріщини та пробойні. При паянні кромки деталей, що з'єднуються, не розплавляються, а лише нагріваються до температури плавлення припоїв, що дозволяє зберегти їх фізично-механічні властивості. При паянні не виникає внутрішніх напружень, тріщин і не відбувається короблення. Паянням ремонтують деталі, виготовлені з чорних і

кольорових металів та різних сплавів, м'якими і твердими припоями: радіатори, баки, трубопроводи, акумулятори, мідні проводи, обмотки якорів, контактів тощо, а також, кріплення до різальних інструментів пластинок твердих сплавів.

**М'які олов'янисто-свинцеві припої** марок ПОС-30, ПОС-40, ПОС-50, ПОС-90 та інші застосовують при паянні деталей із листової сталі, латуні, міді. Цифри вказують на вміст олова у відсотках. М'які припої мають температуру плавлення в межах 180...450°C, не окисляються під час експлуатації, забезпечують герметичність. Сурм'янисті припої марок ПОССу 40-0,5, ПОССу 25-2 та інші використовують при вирівнюванні покороблених поверхонь (оперення машин тощо).

М'які олов'янисто-свинцеві припої марок П200А і П250А застосовують для паяння деталей з алюмінієвих сплавів.

При паянні м'якими припоями для розкислення розплавленого припою, забезпечення надійності з'єднання (герметичності) користуються флюсами: хлористим цинком, соляною кислотою, каніфоллю. Хлористий цинк застосовують при паянні сталевих, латунних і мідних деталей. Технічну соляну кислоту, наполовину розбавлену водою, використовують при паянні цинкових і оцинкованих деталей, на поверхні яких вона перетворюється у хлористий цинк.

Перед паянням поверхні деталей очищають від бруду і окисних плівок металевою щіткою, шабером, напилком чи абразивною шкуркою. Зазор між з'єднуваними поверхнями повинен складати 0,2...0,4 мм, щоб розплавлений припій краще проникав між ними і надійно з'єднував частини (кромки) деталі. При ремонті деталей нагрівають, а м'який припій розплавляють теплом мідної (червона мідь) головки нагрітої полум'ям паяльної лампи (газового паяльника) або електричним струмом. В процесі паяння головку паяльника нагрівають до температури плавлення припою. Перегріта головка паяльника сильно окислюється, погано лудиться і бере на себе припій, а недогріта – нерівномірно.

Нормально нагріту робочу частину головки паяльника труть об кусок хлористого амонію, аж поки вона не вкриється рівним шаром припою. Потім робочу частину головки накладають на місце спаю, трохи потримавши її на цьому місці для прогрівання деталі, повільно і рівномірно переміщують по місцю спаю. Для відносно більш навантажених деталей й надійної герметичності шва місце паяння

попередньо лудять. Для цього поверхню деталі нагрівають до температури 200...250°C, посипають порошкоподібним припоєм і флюсом. Як тільки припій розплавиться, його розтирають по поверхні чистою щіткою або ганчіркою. Лудіння невеликих деталей або їх окремих поверхонь здійснюють зануренням. Після лудіння деталь (місце) промивають у гарячій воді, щоб видалити залишки флюсу.

**Тверді припої:** мідні М1 і М2; мідно-цинкові ПМЦ36, ПМЦ48 та ін.; алюмінієво-кремністі П550А, П590А та ін.; срібні ПСр25, ПСр65 та ін. застосовують для відновлення міцності навантажених з'єднань і герметичності складових систем, які перебувають під високим тиском, а також для усунення тріщин в корпусних деталях, приварювання відламаних частин фланців тощо.

Перед паянням місця спаю очищають від бруду і оливо. Поверхні готують так, щоб зазор між ними був не більше 0,05...0,10 мм, а кромки деталі мали шорстку поверхню – це забезпечує надійне зчеплення припою з основним матеріалом. Місце спаю вкривають флюсом і накладають припій. Потім поверхню деталі, припій і флюс одночасно нагрівають до розплавлення припою газовими паяльниками або струмом високої частоти, у ковальському горні, муфельній печі тощо.

*Мідні і мідно-цинкові припої* застосовують при відновленні деталей із сталі та чавуну. Вони забезпечують високу міцність паяння, мають добрі технологічні властивості і стійкі проти корозії. Температура плавлення мідного припою марки М1 і М2 – 1083°C, а мідно-цинкових ПМЦ36, ПМЦ48 та ін. – 800...900°C. Цинк знижує температуру плавлення припою, але зменшує міцність, збільшує крихкість. Цифри при позначенні марки припою вказують на процентний вміст міді.

Паяння сталевих і чавунних деталей, усунення тріщин краще проводити припоями М1, Л63, Л68. При паянні цими припоями флюсами служать зневоднена (прогартowana) бура або її суміш з борною кислотою чи борним ангідридом.

*Алюмінієво-кремністі припої* марок П550 та ін. та флюси Ф320А та ін. застосовують при усуненні тріщин, корозійних ямок, отворів в корпусних деталях, виготовлених з алюмінієвого сплаву – силуміну. Засобами паяння цього сплаву є ультразвукові паяльники марки УЛ-21 або газовий паяльник. Флюс розкисляє (руйнує) окисну плівку  $Al_2O_3$ , що забезпечує якісне паяння.

Срібні припої бувають легкоплавкі і тугоплавкі. Легкоплавкі припої марок ПСр2,5 та ін. – це сплави срібла з оловом, вміст срібла в припої 2,5...10%, температура плавлення від 183 до 342°C. Зі збільшенням срібла в сплаві припою температура плавлення його підвищується. В якості флюсу використовують 25...50%-ні водні розчини хлористого амонію (нашатир), хлористого цинку (цинк протравлений соляною кислотою) або чисту каніфоль.

Легкоплавкі срібні припої застосовують при паянні мідних проводів, обмоток складальних одиниць електрообладнання машин.

Тугоплавкі срібні припої, вміст срібла в яких більше 10%, використовують для паяння відповідальних деталей зі сталі, міді і її сплавів та відновлення контактів. Температура плавлення цих припоїв – 600...820°C. Як флюси використовують буру або буру і борну кислоту. Шов зі срібного припою має значну механічну міцність і високу електропровідність.

Затверділий шов зачищають, промивають, а при необхідності випробовують на герметичність.

**Паяння пластмас.** У сучасному машинобудуванні застосування пластмас набуває все більш широкі масштаби. Сьогодні в автомобілебудуванні застосовується безліч різних типів пластика на багатьох транспортних засобах, йде заміна традиційних металевих деталей на пластикові. Але пластики відрізняються за багатьма параметрами, що відбивається на їх деформаціях і ремонті.

Пластмасама прийнято називати матеріали, що є з'єднанням синтетичних (рідше – природних) полімерів з органічними домішками, які додають готовому виробу для надання різних властивостей при його формуванні з в'язкотекучого стану в твердий.

**Види пластмас.** Пластмаси класифікують за різними критеріями: хімічним складом, жирністю, жорсткістю. Але головним критерієм, що пояснює природу полімеру, є характер поведінки пластика при нагріванні. За цією ознакою всі пластики діляться на три основні групи: термопласти; реактопласти; еластомери. Належність до тієї чи іншої групи визначають форма, величина і розташування макромолекул, разом з хімічним складом.

*Термопласти* при нагріві переходять з твердого в еластичний стан, причому така зміна оборотна і може повторюватися безліч разів. Ці пластмаси складаються з лінійних або злегка розгалужених молекулярних ланцюгів. При невисоких температурах молекули розташовуються щільно одна біля одної і майже не рухаються, тому в

цих умовах пластмаса тверда і крихка. При невеликому підвищенні температури молекули починають рухатися, зв'язок між ними слабшає і пластмаса стає пластичною. Якщо нагрівати пластмасу ще більше, міжмолекулярні зв'язки стають значно слабшими і молекули починають ковзати одна відносно одної – матеріал переходить в еластичний, в'язкотекучий стан. При зниженні температури і охолодженні весь процес йде у зворотному порядку. Саме в цьому випадку краще всього використовувати паяння. Крім того, термопластичний пластик дуже міцний. Більшість полімерів, що застосовуються в автомобілебудуванні, є саме термопластами. Використовуються вони для виробництва різних деталей інтер'єру і екстер'єру автомобіля: панелей, каркасів, бамперів, решіток радіатора, корпусів ліхтарів і зовнішніх дзеркал, ковпаків коліс і т.д. До термопластів відносяться поліпропілен (PP), полівінілхлорид (PVC), сополімери акрилонітрилу, бутадієну й стиролу (ABS), полістирол (PS), полівінілацетат (PVA), поліетилен (PE), поліметилметакрилат (оргскло) (PMMA), поліамід (PA), полікарбонат (PC), поліоксиметилен (POM) та інші.

Будь-який ремонт пластикової деталі повинен починатися з визначення типу пластмаси, з якої виготовлена деталь. Якщо в минулому це давалося не завжди просто, то зараз «впізнати» пластик легко – всі деталі, як правило, маркуються. Позначення типу пластмаси виробники зазвичай штампують з внутрішньої сторони деталі. Тип пластика, як правило, укладений в своєрідні дужки і може виглядати наступним чином:> PP / EPDM <,> PUR <,. <ABS>

Тільки на визначенні типу пластика попередня підготовка до ремонту не закінчується. Слід підготувати весь необхідний інструментарій. Неправильний підбір робочого обладнання може привести до того, що деталі підлягати ремонту не будуть. Якщо пошкоджені деталі виконані з термопластів, то фахівці використовують технологію паяння. В процесі нагрівання матеріал переходить в той стан, в якому дуже легко надавати йому необхідну форму. Такий ефект нагрівання здійснюють на поліпропілен, полістирол, поліетилен і поліметилметакрилат. Таким чином, під час паяння відбувається:

- надання деталі потрібної форми;
- видаляються (розділяються) тріщини деталі (при необхідності);
- підбір та підготування електродів компенсуючого шару;

- виправлення деформованої пластикової деталі з використанням високої температури (при необхідності);
  - проведення ремонтно-відновлювальних операцій паянням.
- Виходячи з матеріалу деталі слід визначити технологію ремонту.

**Технологія паяння пластика.** Під паянням пластиків мають на увазі нероз'ємне з'єднання термопластичних матеріалів із застосуванням тепла і тиску з або без використання додаткових матеріалів.

Всі процеси паяння відбуваються в термопластичному стані в зоні зварного шва. Там ниткоподібні молекули матеріалу з'єднуються і переплітаються в гомогенний стан. Паяються пластики одного виду, тобто РР з РР, і в одному виді – пластики з однаковими або близькими молекулярними масами і густиною, причому колір можна при цьому не враховувати.

**Паяння гарячим повітрям.** Найважливіші форми шва – це подвійний V- (X-) подібний шов, V-подібний шов, а також кутовий шов, тобто шов для з'єднання площин під прямим кутом. Площини повинні бути прямими і повинна бути знята фаска в 30°. Це можна зробити інструментом для редагування, фрезою, ножем, циклею.

Найбільш якісний результат можна отримати з використанням подвійного V-подібного шва, при якому зварюють з двох сторін по черзі, щоб знизити напруження. Для більш тонких площин і там, де паяння можливе лише з одного боку, рекомендується простий V-подібний шов. При цьому виконують попередній обробіток поверхонь, що зварюються і зварного дроту. Щоб отримати високу якість паяння необхідно видалити бруд, жири, піт від рук, окисну плівку.

**Способи паяння.** Оптимальні результати виходять лише за умови, що основний матеріал і зварювальний дріт є рівномірно пластичними. Прилади слід періодично контролювати і регулювати по температурі і кількості повітря. При цьому доцільно використовувати спеціальний фен (рис. 3.77), а в кращому випадку паяльну станцію, (рис. 3.78).

Фен для паяння – портативний, компактний термовітряний фен з регуляцією температури та силою потоку повітря й насадки, температура 100-480°C (регулюється плавно), сила потоку повітря: до 120 л/хв.





Рис. 3.77 – Фен для паяння пластика



Рис. 3.78 –  
Термоповітряна  
паяльна станція для  
ремонту пластикових  
деталей транспортних  
засобів

Паяльна станція для ремонту пластика, компресорного (насосного) типу, насадки - діаметр комірки 1,6 мм. У паяльній станції повітря подається за рахунок мембранного компресора який вмонтований у прилад, що дозволяє не тільки використовувати сопла (насадки) навіть діаметром від 2 мм без шкоди для нагрівального елемента і апарату цілком, але і дозволяє проводити тривалі роботи без виключення. Має регулювання температури і сили потоку повітря, та електронний дисплей. Потужність: гаряче повітря – 560W, температура: термофен – 100-500°C (плавне регулювання), подача повітря: 28 л/хв (плавне регулювання).

Перед заправкою дроту слід початкову ділянку частково прогріти, щоб поверхня стала матовою. Перед наплавленням нового шару, наварений раніше шар очищують від окисної плівки, що утворюється на поверхні при високій температурі, за допомогою будь-якого інструменту.

Для зменшення деформації важливо, щоб зварювальний шар охолоджувався на повітрі, перш ніж виробу надати нове положення. При зварюванні товстих площин з використанням Х-подібних швів площину після проходження одного шва слід перевернути, щоб протилежні шви завжди були розташовані один проти одного. При зварюванні потрібно намагатися, щоб зони нагріву площин з двох сторін від шва, приблизно 5-8 мм, були однакові. Для надійного з'єднання між собою важливе формування подвійного валика, причому плавитися в пластичній зоні повинні обидві площини. Ланцюги молекул переплітаються між собою, і утворюється подвійний валик (рис. 3.79).

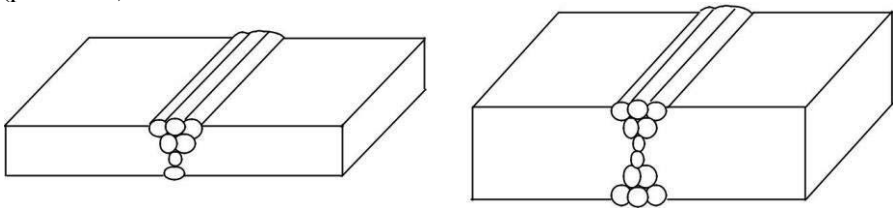


Рис. 3.79 – Формування швів при зварюванні пластмасових деталей

*Паяння за допомогою нагрівальних елементів.* Нагрівання здійснюється через металевий нагрівальний елемент. Перенесення тепла методом прямого контакту набагато інтенсивніше, ніж при зварюванні гарячим повітрям, розподіл тепла по перерізу матеріалу більш сприятливий, жодна із зон не нагрівається більше, ніж потрібно для паяння. Тому, виходять з'єднання без будь-яких внутрішніх напружень. Паяння при даному способі здійснюється шляхом стиснення нагрітих поверхонь із заданим тиском і охолодження без зняття цього тиску (рис. 3.80).



Рис. 3.80 – Паяння пластикових деталей за допомогою нагрівальних елементів

Для якості паяння вирішальними є такі чинники:

а) Попередня обробка шва.

Чистота деталей, що зварюються і нагрівального елемента при даному способі є найважливішою умовою. Тефлонові плівки або покриття полегшують очищення нагрітих поверхонь і перешкоджають налипанню пластику на нагрівачий елемент. Це особливо необхідно при зварюванні *PVC*.

б) Температура нагрівального елемента.

Як правило, для деталей більшої товщини потрібні більш низькі температури нагріву в межах допусків при відповідно більш тривалому часу нагріву.

в) Час витримки нагрівального елемента над зварювальним матеріалом.

Відмінно вирівняні поверхні, що зварюються, витримують над нагрітим інструментом рівномірно і під тиском, доти, поки не з'явиться потовщення (наплив) розплавленого матеріалу.

г) Час підігріву.

Протягом відрізки загального часу такту тиск під час підігріву лінійно зменшується до нуля, щоб досягти більш рівномірного теплового потоку в матеріалі. Виключається різка тепла зона між пластичним і непластичним станом матеріалу.

д) Час з'єднання частин.

Для паяння з високим коефіцієнтом міцності зварного шва швидке з'єднання зварювальних частин є вирішальним фактором. Це особливо відноситься до *PVC*.

ж) Час зчеплення.

Під час з'єднання, тобто час, протягом якого повністю відбувається зниження тиску, тиск підвищується відносно повільно.

Слід зазначити, що найнадійнішим з'єднанням є пайка пластика таким же пластиковим електродом.

*Підготовка деталі та електродного дроту до проведення робіт.* Перед початком відновлювальних робіт, необхідно краї тріщини, пошкодженої деталі, обережно зачистити під кутом 45°. Також необхідно зняти окисну плівку з компенсуючого пластикового електроду Дані маніпуляції легко зробити за допомогою будь якого обладнання, гравера, кутової шліфувальної машини, або наждачного паперу – фахівці рекомендують зачищати по 5-10 мм від краю розлому з кожного боку;

*Проведення ремонту деталі.* У разі, якщо деталь має розриви, тріщини, або покришилася на кілька окремих шматків, то її необхідно з'єднати із збереженням геометричних параметрів. При цьому краще застосовувати спеціальний прилад, який здатний, шляхом вплавлення спеціальних металевих скоб з'єднати дані ушкодження (рис. 3.81).



Рис. 3.81 – Термостеплер WS-303 TRISCO

Після цього із зворотного боку починається пайка паяльником. Для цього паяльником намічається паз, глибиною, що приблизно відповідає товщині електрода. Потім пластиковий електрод або попередньо вирізаний і відповідний за складом шматок непотрібної деталі нагрівається гарячим повітрям до температури плавлення. Пруток загострюють з одного боку, а іншою стороною вставляють в фіксатор на соплі. Пристрій ведуть уздовж лінії спайки повільно, нахиливши пруток-присадку під кутом 40-50° (рис. 3.82).



Рис. 3.82 – Проведення спаювання елементів пластикової деталі

Для з'єднання розрізаних осколків пайку виконують у кілька проходів. Спершу потрібно з'єднати осколки між собою короткими швами, з розрахунку один – два на бік. Далі отриману збірку прикладають до цілої частини деталі. Якщо контури збігаються, проводять спайку по контуру. В останній прохід деталі остаточно спаюють між собою за допомогою електрода, а з'єднання рівняють паяльником.

Через кілька хвилин, після охолодження з'єднання шліфується. Для цього можна використовувати абразив, шліфувальну машинку або спеціальні насадки на гравер.

**Техніка безпеки** при відновленні деталей паянням: користуючись електропаяльником, необхідно одягати калоші або стояти на гумовому килимку, на руках повинні бути рукавиці; при розігріванні головки паяльника паяльною лампою не можна надмірно накачувати її повітрям, розпалювати слід лише суху лампу, не наливати пальне доки не охолоне лампа, після закінчення роботи – випускати повітря з неї; соляну та сірчану кислоти треба зберігати у скляних бутлях з притертими пробками; при розведенні кислот необхідно лити кислоту у воду, а не навпаки, щоб не спричинити вибухів і опіків; травлення кислотами слід проводити в окремому приміщенні або під витяжним зонтом.

### Контрольні питання до розділу 3

1. Способи зварювання деталей.
2. Від чого залежить якість зварюваних деталей і шва?
3. Конструкція електроду для дугового зварювання.
4. Позначення зварювального дроту.
5. Особливості зварювання чавунних деталей.
6. Послідовність і напрямок заварювання тріщини.
7. Особливості зварювання деталей із алюмінієвих сплавів.
8. Будова та принцип дії електролізера.
9. Види контактного зварювання в залежності від форми зварного з'єднання.
10. Основні види наплавлення.
11. Класи флюсів для наплавлення.
12. Переваги та недоліки вібродугового наплавлення.
13. Матеріал дроту для наплавлення.
14. Способи плазмового наплавлення.
15. Сутність індукційного наплавлення.
16. Способи легування.
17. Види газотермічного напилювання в залежності від джерела теплової енергії.
18. Сутність процесів газополуменевого напилювання.
19. Основні операції технологічного процесу відновлення деталей напилюванням.
20. Переваги та недоліки плазмового способу напилювання.

21. Сутність методу відновлення та зміцнення деталей електроіскровою обробкою.
22. Способи ремонту деталей пластичним деформуванням.
23. Відновлення деталей нанесенням електrolітичних і хімічних покриттів.
24. Термодифузійний спосіб відновлення деталей із бронзи.
25. Способи відновлення деталей полімерними матеріалами.
26. Відновлення нарізних отворів спіральними вставками.
27. Особливості термічної, криогенної та хіміко-термічної обробок.
28. Технологічні переваги використання лазерного випромінювання.
29. Матеріали, що використовуються для відновлення деталей лазерним променем.
30. Технологія паяння пластика.

## **РОЗДІЛ 4. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВІДНОВЛЕННЯ ТА ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

Метою технологічної підготовки виробництва (ТПВ) є забезпечення повної технологічної готовності підприємства до відновлення визначеної номенклатури деталей необхідної якості. Відповідно до ЄСТПВ технологічна підготовка складає комплекс задач, які можна розділити на 5 груп:

- забезпечення придатності деталей до відновлення;
- розробка нормативно-технічної документації (НТД);
- розробка ремонтних креслеників і технологічних процесів;
- проектування і виготовлення засобів технологічного оснащення;
- організація і керування процесом технологічної підготовки.

Основними показниками придатності деталей до відновлення є трудомісткість відновлення і витрати з обліком додаткових кінцевих витрат на реалізацію процесу. Технічними показниками придатності деталей до відновлення є: застосування ремонтних розмірів і змінних елементів; наявність і стабільність технологічних баз, мінімальна кількість перевстановлень деталі при механічній обробці в процесі відновлення; наявність устаткування й оснащення для реалізації процесу відновлення; кількість типових поверхонь на деталі і їхній взаємозв'язок; кількість дефектів деталі в цілому і їхня повторюваність та ін. У результаті рішення задач 2 групи розробляють наступну НТД: номенклатуру відновлюваних деталей; нормативи обсягів відновлюваних деталей; норми часу, витрати матеріалів; нормативи потреби устаткування, пристосувань і інструментів; нормативи собівартості або ціни на відновлення. До задач 5 групи відноситься складання перспективних і поточних планів розвитку виробництв галузі. Відповідно до плану створюють типові проекти виробництв, забезпечують ці виробництва засобами технологічного оснащення, підготовлюють кадри, впроваджують систему керування якістю.

Засоби технологічного оснащення (ЗТО) створюють для забезпечення виконання операцій технологічного процесу. Класифікація засобів технологічного оснащення за технологічною ознакою представлена у вигляді блок-схеми (рис. 4.1).

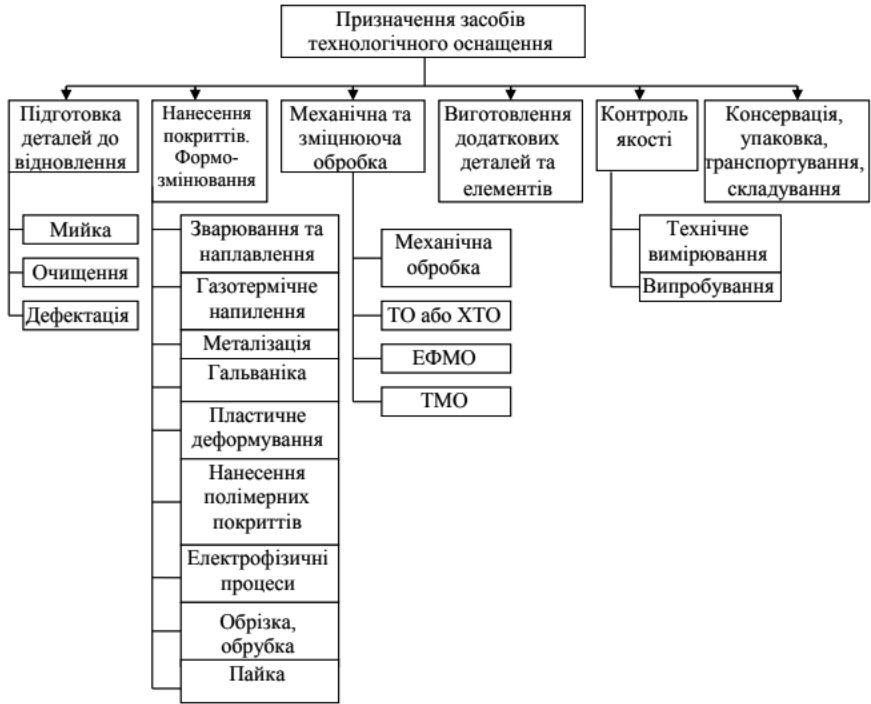


Рис. 4.1 – Класифікація засобів технологічного оснащення за технологічною ознакою

#### 4.1 Основні етапи розробки технологічних процесів

Проектування технологічного процесу відновлення деталі пов'язане з вирішенням таких завдань: визначення коефіцієнтів повторюваності дефектів деталі; вибір оптимального способу відновлення кожної зношеної поверхні деталі; вибір оптимального поєднання способів відновлення деталі в цілому, тобто по всьому поєднанню дефектів; розробка технологічних маршрутів відновлення деталі стосовно спеціалізованого виробництва; визначення економічної доцільності відновлення деталі з тим чи іншим поєднанням дефектів, виходячи із запланованого рівня рентабельності виробництва та коефіцієнта довговічності відновленої деталі.



Залежно від масштабу виробництва (одиничне, дрібносерійне, серійне, масове) відновлення деталей може бути організовано за подефектною або маршрутною технологією.

Подефектна технологія характеризується тим, що зношені деталі формують у невеликі партії для усунення кожного окремого дефекту. Після усунення дефекту ця партія розпадається. Така форма організації має ряд суттєвих недоліків, і її застосовують лише на підприємствах із невеликими обсягами відновлення.

Маршрутна технологія характеризується тим, що партія деталей, скомплектована для певного технологічного маршруту, не розпадається при її відновленні, а зберігається від початку і до кінця маршруту. У загальному випадку кількість технологічних маршрутів відновлення може змінюватися від одного, коли всі зношені деталі з будь-яким поєднанням дефектів об'єднують у єдиний маршрут, до числа поєднань дефектів, коли деталі з кожним окремим поєднанням дефектів формують окремий маршрут.

Зміна числа технологічних маршрутів відновлення значною мірою впливає на ефективність виробництва.

Збільшення числа маршрутів потребує збільшення площ для зберігання деталей, які чекають на ремонт, оскільки одночасно формуватиметься стільки партій деталей, скільки прийнято технологічних маршрутів, а також збільшення витрат, пов'язаних з ускладненням організації та управління виробництвом.

Зменшення числа маршрутів, навпаки, скорочує час на комплектування виробничої партії деталей, отже, знижує потреби у виробничих площах, але у разі у кожен технологічний маршрут об'єднують деталі з різними поєднаннями дефектів, отже, у маршрут включаються деталі як би з «неіснуючими» дефектами.

Структурна схема проектування технологічного процесу відновлення деталі зображена на рис. 4.2.

Розглянемо основні завдання, які вирішуються на окремих етапах проектування.

**Етап I** – вивчення робочого кресленика деталі; вивчення технологічного процесу виготовлення деталей; аналіз стану заготовки (зношеної деталі); ознайомлення із програмою випуску деталей, плануванням відповідного виробничого підрозділу; аналіз можливості замовлення обладнання, оснащення та інструменту, наявного парку обладнання; можливість технологічної кооперації; підбір довідкової інформації.



Рис. 4.2 – Основні етапи проектування технологічного процесу відновлення

**Етап 2** – розгляд документацій щодо типових, групових та одиничних технологічних процесів відновлення, що відносяться до даного класу деталей.

**Етап 3** – аналіз стійких поєднань дефектів на деталях; аналіз і опрацювання можливих способів відновлення деталі; попереднє визначення раціональної послідовності способів і операцій відновлення; вибір технологічних баз; визначення складу технологічного оснащення

**Етап 4** – відбір технологічних способів, що застосовуються при відновленні деталей з урахуванням матеріалу, виду дефекту та його кількісних характеристик, фізико-механічних властивостей, геометричних параметрів деталі та ін; накладання обмежень на вибрані способи з урахуванням організаційно-технологічних факторів (програма, наявність обладнання тощо); складання плану операцій.

**Етап 5** – розробка (або уточнення) послідовності переходів в операціях; вибір засобів технологічного оснащення; призначення та розрахунок режимів операцій.

**Етап 6** – встановлення вихідних даних для розрахунків норм часу та витрати матеріалів; розрахунок та нормування витрат праці на виконання операцій; розрахунок норм витрати матеріалів, необхідні для реалізації процесу; визначення розряду робіт та обґрунтування професій виконавців для виконання операцій залежно від складності цих робіт.

**Етап 7** – оцінка вибраних способів відновлення за очікуваними показниками якості відповідних відновлених поверхонь деталей та показниками якості способів (призначення, технологічності, продуктивності, надійності).

**Етап 8** – відбір сукупності способів відновлення окремих поверхонь деталей у технологічний процес; накладання обмежень на складені процеси з урахуванням організаційно-технічних та соціальних факторів, ергономічних, екологічних та естетичних показників якості,

**Етап 9** – оцінка вибраних технологічних процесів за очікуваними показниками якості відновлених деталей та процесу відновлення (точність, стабільність, надійність, технологічність, питомі витрати, рівень відновлення); проведення розмірного аналізу

**Етап 10** – заповнення форм технологічної документації відповідно до вимог стандартів ЕСТД та галузевої нормативно-технічної документації; нормоконтроль технологічної документації; узгодження та затвердження.

**Етап 11** – оснащення технологічного процесу; відпрацювання технології у виробничих умовах; доопрацювання та коригування документації.

## **4.2 Вибір способів і технологічних процесів відновлення деталей**

Найбільш відповідальні етапи проектування технологічного процесу відновлення деталі – етапи, присвячені вибору оптимального варіанта технологічного процесу.

Необхідний комплексний, системний аналіз порівнюваних варіантів технологічних процесів, що включає розгляд технічної, організаційної, соціальної та економічної доцільності їх застосування,

При виборі способу відновлення в основному застосовують методику та критерії, розроблені В.А. Шадрічевим та уточнені М.А. Масіно.

Сутність методики полягає в тому, що вибирається той спосіб усунення дефекту деталі, який найкраще відповідає таким показникам: критерію застосування або технологічному критерію – безрозмірному; критерію довговічності, який визначається за допомогою коефіцієнта довговічності, під яким розуміється відношення терміну служби відновленої деталі до терміну служби нової; техніко-економічному критерію, що визначається за питомими витратами на одиницю напрацювання на відновлення та виготовлення відповідної деталі.

Зазначені методики не розглядають вибір технологічних процесів, а лише способи відновлення. Але технологічний процес відновлення – це взаємна сукупність тих чи інших технологічних способів нарощування металу, механічної, термічної та зміцнювальної обробки та ін. Пропонується така послідовність вибору раціонального технологічного процесу відновлення.

1. Визначення можливих способів відновлення для кожного дефекту (поверхні) на основі аналізу: деталі, що відновлюється (характер дефекту, величина зносу, точність обробки, матеріал, твердість, конструкція деталі тощо); організаційної доцільності (тобто з'ясується можливість у даних конкретних виробничих умовах у задані терміни та у необхідному обсязі відновити деталі встановленої номенклатури); можливих засобів технологічного оснащення. На цьому етапі дається логічна оцінка способів відновлення з погляду показників призначення: геометричних параметрів; параметрів поверхневого шару, механічних та фізико-механічних властивостей,

структури матеріалу, хімічних та фізичних характеристик відновлених поверхонь.

2. Відібрані способи оцінюються за такими показниками (критеріями) якості:

а) технологічності способів, що визначається трудомісткістю та собівартістю відновлення; коефіцієнтами витрати матеріалу та оброблюваності, кратністю відновлення;

б) продуктивності, що розраховується за формулою  $K_n = t_{pn}/t_i$ , (де  $K_n$  – коефіцієнт продуктивності;  $t_{pn}$  – основний час відновлення умовної деталі ручним наплавленням;  $t_i$  – основний час відновлення умовної деталі даним способом). Значення коефіцієнта продуктивності різних способів відновлення наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Коефіцієнт продуктивності  $k_n$  різних способів відновлення

Спосіб відновлення	Значення коефіцієнта продуктивності $k_n$
Застосування ремонтних розмірів	2,60 – 2,40
Пластичне деформування (гаряче)	2,60 – 2,30
Осталювання на змінному асиметричному струмі	1,93 – 1,77
Осталювання на постійному струмі	1,71 – 1,53
Застосування клейових композицій	1,73 – 1,37
Наплавлення під флюсом	1,62 – 1,45
Електромеханічна обробка	1,35 – 1,06
Наплавлення у вуглекислому газі	1,82 – 1,77
Газотермічне напилювання	1,62 – 1,35
Застосування додаткової ремонтної деталі	1,45 – 1,15
Пластичне деформування (холодне)	1,00
Ручне дугове наплавлення	1,00
Вібродугове наплавлення	0,85 – 0,72
Електролітичне натирання цинком	0,72 – 0,57
Аргоно-дугове наплавлення (зварювання)	2,10 – 1,70
Ручне газове наплавлення	0,73 – 0,58
Хромування в саморегульованому електроліті	0,53 – 0,48
Хромування в універсальному електроліті	0,32 – 0,22
Заміна частини деталі із застосуванням зварювання тертям	2,90 – 2,30

в) надійності окремих елементів (поверхонь) деталі, відновлених аналізованими способами, що оцінюються одним із одиничних показників (див. табл. 9) залежно від типу деталі.

3. Вибір сукупностей способів відновлення з урахуванням їхнього логічного взаємозв'язку, технологічної спадковості та обмежень за такими показниками: ергономічним (гігієнічність та безпека праці), екологічним (вплив на забруднення довкілля), естетичним (товарний вид), номенклатурною поширеністю, рівнем механізації, автоматизації, уніфікації та патентної чистоти.

Найчастіше ці показники грають допоміжну роль, що дозволяє доповнити характеристику раціональних варіантів.

4. Технологічні процеси порівнюють за показниками:

а) продуктивності;

б) точності чи стабільності;

в) технологічності процесів, що визначається трудомісткістю відновлення; коефіцієнта номенклатури матеріалів; коефіцієнта застосування типових технологічних процесів; кратністю відновлення;

г) економічного показника – питомих витрат на відновлення та експлуатацію відновлених деталей.

Широкого розповсюдження у ремонтному виробництві отримали три основні методи вибору процесу відновлення деталі, що відрізняються технічними та економічними критеріями.

Перший заснований на розрахунку вартості відновлення деталі  $C_e$  та зіставленні її з ціною нової деталі  $C_n$ :

$$C_e \leq C_n. \quad (4.1)$$

За другим методом порівнюють між собою комплексні величини у вигляді відносин вартості та ціни до ресурсу деталей – нової та відновленої:

$$\frac{C_e i_e}{I_e} \leq \frac{C_n i_n}{I_n}, \quad (4.2)$$

де  $i_e, i_n$  – швидкість зношування відновленої та нової деталей, мм/год;

$I_e, I_n$  – граничне зношування відновленої та нової деталей, мм.

Третій метод враховує вартість та довговічність нової та відновленої деталей

$$C_e \leq k_d \cdot C_n, \quad (4.3)$$

де  $k_d$  – коефіцієнт довговічності відновленої деталі по відношенню до довговічності нової деталі.

Критерії один і два по суті однакові. Недоліки першого методу полягають у відсутності обліку технічного стану та післяремонтного напрацювання відновленої деталі.

Другий і третій методи допускають у виробництво способи, які за малої вартості відновлення формують і малу довговічність деталі в порівнянні з нормативним напрацюванням агрегату.

Критерії оцінки процесу відновлення деталей мають значення для ремонтної практики, тому безперервно уточнювалися. Наприклад, комбінований критерій  $\varphi_{ki}$ , що відображає енергоємність, трудомісткість, наведені витрати та довговічність деталі:

$$\varphi_{ki} = \frac{K_{1i} K_{2i} K_{3i}}{k_{0i}} \rightarrow \min, \quad (4.4)$$

де  $i$  – індекс, що означає номер способу відновлення деталі;  $K_{1i}$ ,  $K_{2i}$  – коефіцієнт енергоємності та трудомісткості технологічного процесу відновлення деталі  $i$ -м способом;  $K_{3i} = Z_{ei} / C_n$  – коефіцієнт економічності;  $Z_{ei}$  – витрати на відновлення деталей;  $k_{0i}$  – коефіцієнт довговічності.

Спосіб відновлення деталей, вибраний на основі апіорного ранжування думок експертів, суб'єктивний. Усі розглянуті методи оцінюють отримані результати, але жоден із них не формує сам процес відновлення деталі, що зобов'язує повернутися до проблеми та шукати її нове рішення

При відборі варіантів доводиться одночасно враховувати низку функціональних та економічних особливостей кожного способу ремонту. Для відсіювання неконкурентоспроможних варіантів зручно скористатися графічним деревом (рис. 4.3).

Насамперед потрібно виключити ті варіанти ремонту, які не підходять за фізико-хімічними або іншими властивостями, що перешкоджають наступній експлуатації вузла.

Потім прораховуються варіанти по довговічності і економічній доцільності і робиться висновок про прийнятні способи ремонту.

Вибравши конкуруючі способи та їх питомі показники, їх необхідно проаналізувати і знайти найбільш ефективний варіант відновлення деталі.

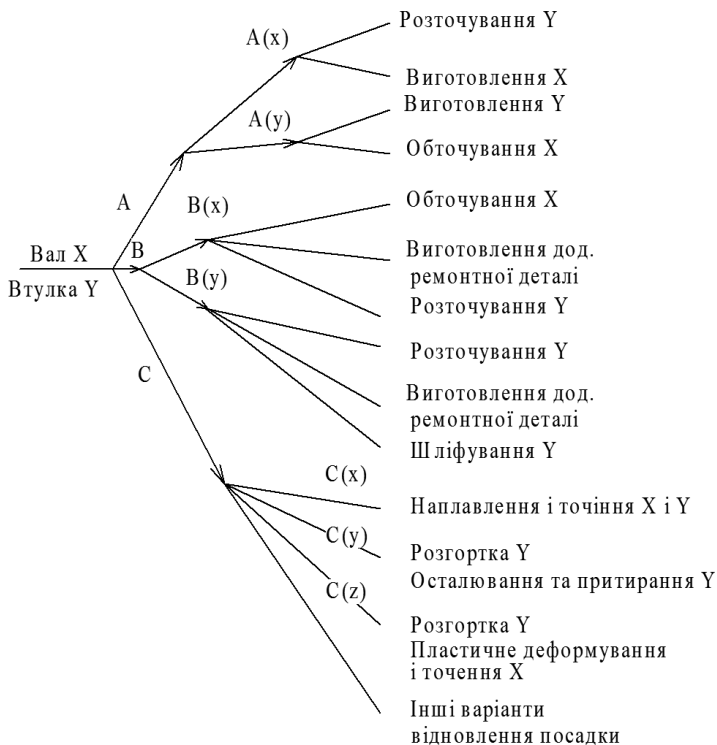


Рис. 4.3 – Приклад дерева, варіантів відновлення поєднання деталей «вал – втулка»

Для виконання аналізу та визначення інтегрального показника ефективності складають таблицю відповідної форми (див. табл. 4.2-4.4).

Інтегральний показник  $i$ -го способу визначається за формулою:

$$I_i = \frac{\gamma_i}{\alpha_i}, \quad (4.5)$$

де  $\gamma_i$  – відносний питомий показник  $i$ -го способу;  $\alpha_i$  – відносна довговічність деталі, відновленої  $i$ -м способом.

Аналогічно розраховуються та інші показники відновлення деталі за вибраним варіантом.



Таблиця 4.2 – Характеристика способів відновлення

Показники	Зварювання		Наплавлення механізоване			Газотермічне напильовання			Електролітичні покриття		Електроіскрове легування	Клейові композиції	Електроіскрове висаджування	Пластичне деформування	Обробка під ремонтний розмір	Постановка долаткової деталі		
	електродугове	ручне газове	аргондугове	у середовищі CO <sub>2</sub>	під шаром флюсу	вібродугове	у середовищі пару	газоополум'яне	дугове напильовання	плазмове напильовання							хромування	остаповання
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Відновлення розміру і посадки	так	так	так	так	так	так	так	так	так	так	так	так	так	так	обм.	так	ні	обм.
Відновлення властивостей: коефіцієнт зносостійк.	0,7	0,7	0,7	0,72	0,91	1,0	0,9	1,2	1,1	1,3	1,3	1,67	0,91	-	1,1	1,0	0,95	0,9
коефіцієнт витривалості	0,6	0,7	0,7	0,9	0,87	0,62	0,75	0,9	1,0	0,9	0,9	0,97	0,82	-	1,0	0,9	0,9	0,9
коефіцієнт зчеплення	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	0,6	0,8	1,0	0,82	0,65	-	1,0	1,0	1,0	1,0
коефіцієнт довговічності	0,42	0,49	0,49	0,63	0,79	0,62	0,69	0,85	0,82	0,8		1,72	0,58	-	1,1	0,9	0,86	0,81
мікротвердість, кгс/мм <sup>2</sup>	200	200	250	300-500	400-600	500-700	300-600	500-700	400-600	500-700	500-700	800-1300	300-700	-	1,2H <sub>т</sub>	H <sub>т</sub>	0,9H <sub>т</sub>	H <sub>т</sub>

Продовження табл. 4.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Розрахункова товщина покриття, мм	5	3	4	2-3	3-4	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	0,5-1,0	0,3	0,5	5	0,2	2	0,2	5
Витрати матеріалів, кг/м <sup>2</sup>	48	38	36	30	38	31	31	30	32	30	30	21,2	23,3	47,5	-	3,5	2,5	78
Трудомісткість відновлення, чол.-год/м <sup>2</sup>	60	72	56	28	30	32	28	34	29	31	35	54,6	18,6	30	9,0	36,2	16,7	148
Енергоємність відновлення, кВт год/ м <sup>2</sup>	580	80	520	256	234	234	234	100	250	350	220	324	121	-	188	126	97	129
Продуктивність процесу, м <sup>2</sup> /год	0,016	0,014	0,018	0,036	0,033	0,031	0,036	1,1	1,5	1,3	0,03	0,018	0,054	-	0,112	0,028	0,06	0,007
Площа обладнання, м <sup>2</sup>	1,7	1,8	3,0	13,6	13,6	11,2	13,6	15	16	16	10	15,2	15,2	3,0	3,0	11,7	11,0	4,0
Маса обладнання, т	0,7	0,6	0,8	7,5	7,5	6,4	7,5	7,5	7,5	8,0	5,2	4,4	4,4	1,8	2,5	7,5	6,0	2,8

Таблиця 4.3 – Питомі показники способів відновлення

Способи відновлення	Питомі показники на 1 дм <sup>2</sup> поверхні					Відносна довговічність, $\alpha$
	W, кВт год	Q, кг	$\beta$ , м <sup>2</sup>	T, чол-год	C, пит. од	
Газополум'яне напилювання - дротом	0,98	0,17	2	0,034	1,7	0,8
- порошком	0,67	0,16	2	0,023	4	0,8
Газополум'яне надзвукове напилювання	0,7	0,18	5	0,018	9	0,8
Дугове напилювання	0,3	0,18	1,8	0,015	1,26	0,8
Гіперзвукове напилювання	0,3	0,17	5,4	0,085	1,7	0,8
Плазмове напилювання	1,25	0,18	6	0,025	5,04	0,8
Плазмове надзвукове напилювання	1,3	0,18	10	0,03	7,2	0,8
Газополум'яне наплавлення	0,47	0,17	0,25	0,34	0,34	0,8
Газодинамічне напилювання	0,02	0,07	3	0,014	1,3	0,8
Електроіскрова обробка	0,45	0,2	1,5	0,07	3,5	0,8
Гальванічне натирання	3,1	0,2	6,5	0,41	0,7	0,8

Таблиця 4.4 – Таблиця для розрахунку ефективності способів відновлення

Можливі способи відновлення	Питомі показники на 1 дм <sup>2</sup> поверхні					Питомий показник $i$ -го способу	Довговічність, $\alpha$	Інтегральний показник $I$
	W, кВт год	Q, кг	$\beta$ , м <sup>2</sup>	T, чол-год	C, пит. од			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Спосіб №1	$W_1$	$Q_1$	$\beta_1$	$T_1$	$C_1$	$\gamma_1$	$\alpha_1$	$I_1$
Спосіб №2	$W_2$	$Q_2$	$\beta_2$	$T_2$	$C_2$	$\gamma_2$	$\alpha_2$	$I_2$
...	...	...	...	...	...	...	...	...

Продовження табл. 4.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Спосіб № <i>n</i>	$W_n$	$Q_n$	$\beta_n$	$T_n$	$C_n$	$\gamma_n$	$\alpha_n$	$I_n$
Сума значень	$\Sigma W_n$	$\Sigma Q_n$	$\Sigma \beta_n$	$\Sigma T_n$	$\Sigma C_n$	-	-	-

Відносний питомий показник *i*-го способу розраховується за формулою:

$$\gamma_i = \frac{W_i}{\sum W_n} + \frac{Q_i}{\sum Q_n} + \frac{\beta_i}{\sum \beta_n} + \frac{T_i}{\sum T_n} + \frac{C_{Bi}}{\sum C_{Bn}}, \quad (4.6)$$

де  $W_i$ ,  $Q_i$ ,  $\beta_i$ ,  $T_i$ ,  $C_{Bi}$  – значення питомих показників *i*-го способу відновлення;

$\sum W_n$ ,  $\sum Q_n$ ,  $\sum \beta_n$ ,  $\sum T_n$ ,  $\sum C_{Bn}$  – суми значень однойменних питомих показників усіх можливих способів відновлення.

Після цього складається маршрут відновлення деталі вибраним способом (найменування та зміст операцій, технологічні режими, обладнання та матеріали, що використовується).

Співвідношення витрат на матеріали, енергію і заробітну плату, що змінюється, і поява нових технічних рішень вимагають періодичного перегляду результатів оптимізації.

### 4.3 Нормативна, технічна і конструкторська документація на відновлення деталей

**Нормативна документація.** На території України чинні наступні нормативні документи: міждержавні стандарти, настановчі документи, рекомендації; національні стандарти України; настановчі документи та рекомендації Держспоживстандарту України; державні класифікатори; галузеві стандарти України та стандарти організацій України, які зареєстровано Державним підприємством “Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості”; технічні умови, які зареєстровано територіальними органами Держспоживстандарту України та нормативні документи центральних органів виконавчої влади України. До нормативної документації для відновлення деталей відносять стандарти єдиних систем конструкторської та технологічної

документації, а також стандарти на матеріали, технологічні методи (наприклад зварювання) тощо.

**Технічна документація** – сукупність документів, необхідних і достатніх для користування на кожній стадії життєвого циклу продукції. До технічної документації на відновлення деталей відносяться:

- технічні умови на відновлення деталей;
- норми витрат матеріалів на відновлення;
- номенклатура відновлення деталей;
- відомість технологічного обладнання та технологічне оснащення.

Під час розробки, оформлення та обігу технічної документації доцільно керуватись міжнародними, міждержавними й національними стандартами України, які належать до комплексу стандартів “Системи конструкторської документації” та використовувати терміни і визначення основних понять, які встановлено ДСТУ 3321:2003.

**Конструкторська документація.** Основним конструкторським документом, що розробляється в системі технологічної підготовки виробництва по відновленню деталей є **ремонтні кресленики** ДСТУ ГОСТ 2.604:2005 «Єдина система конструкторської документації. Кресленики ремонтні. Загальні вимоги (ГОСТ 2.604-2000, ІДТ)».

Ремонтними вважаються документи (кресленики, схеми, специфікації, відомості, інструкції та інші документи призначені для:

- ремонту виробів (деталей, складальних одиниць, комплексів та комплектів);
- складання (монтажу) та контролю відремонтованих виробів;
- виготовлення додаткових (нових) деталей (складальних одиниць) з ремонтними розмірами.

Ремонтні кресленики розробляють на додаток до ремонтних документів або за відсутності останніх як самостійні документи.

У комплект ремонтних креслеників виробів в загальному випадку входять:

- кресленики виробів;
- габаритні, монтажні кресленики, якщо в результаті ремонту повинні змінитись габаритні розміри виробу або монтажні розміри;

- кресленики додаткових деталей (складальних одиниць), які виконуються відповідно до вимог єдиної системи конструкторської документації ЄСКД;

- схеми;
- специфікації;
- відомості специфікацій;
- інструкції.

Допускається до комплекту цих документів включати розрахунки розмірних та кінематичних ланцюгів, розрахунки виробів (деталей, складальних одиниць тощо) на міцність та інші необхідні документи.

Ремонтні габаритні та монтажні кресленики, ремонтні схеми та специфікації та інші документи можуть бути виконані у паперовій або електронній формі відповідно до вимог цього стандарту та стандартів ЄСКД.

На ремонтних креслениках, ремонтних габаритних і монтажних креслениках, ремонтних схемах, що входять до комплекту документів для ремонту, поміщають ті дані відповідних документів, які входять у комплект робочої конструкторської документації.

**Правила виконання ремонтних креслеників.** Ремонтні кресленики виконують відповідно до вимог стандартів Єдиної системи конструкторської документації та ДСТУ ГОСТ 2.604:2005.

На ремонтних креслениках вказують лише ті розміри, граничні відхилення, натяги, зазори та інші дані, які мають бути виконані та перевірені під час ремонту виробу.

На вироби, які при ремонті не можуть бути роз'єднані (нероз'ємні з'єднання, виконані клепаанням, зварюванням тощо) допускається не випускати самостійні кресленики на окремі деталі. Вказівки з ремонту таких виробів наводять на ремонтному складальному кресленнику виробу, до якого входять деталі, що ремонтуються, з додаванням зображень і даних, що пояснюють сутність ремонту.

На ремонтних креслениках зображують ті види, розміри, перерізи, які необхідні для ремонту виробу.

На ремонтних креслениках граничні відхилення лінійних розмірів вказують, як правило, числовими значеннями, наприклад  $\varnothing 18^{+0,018}$ ,

$\varnothing 12_{-0,059}^{-0,032}$  або умовними позначеннями з наступним зазначенням у дужках їх числових значень, наприклад  $\varnothing 18H7^{+0,018}$ ,  $\varnothing 12e8_{-0,059}^{-0,032}$ .

На ремонтних креслениках поверхні, що підлягають обробці при ремонті, виконують суцільною товстою основною лінією, інші частини зображення суцільною тонкою лінією (рис. 4.4).

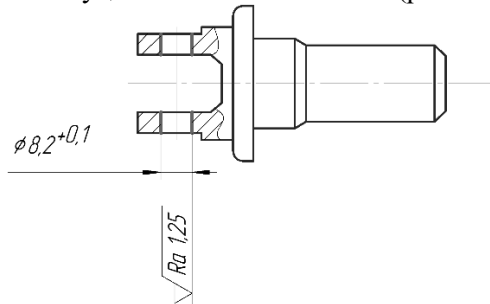


Рис. 4.4 – Приклад позначення на ремонтному кресленіку

Якщо в окремих елементах виробу, що ремонтується, змінюється конфігурація, то змінену частину показують суцільною товстою основною лінією, а незмінну частину — суцільною тонкою лінією.

На кресленіку виробу, що ремонтується зварюванням, паянням, нанесенням металопокриттів і т. п. рекомендується виділяти відповідну ділянку виробу, що підлягає ремонту (рис. 4.5).

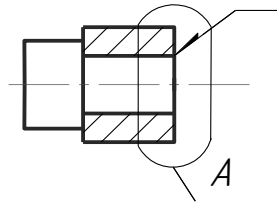


Рис. 4.5 – Приклад оформлення кресленіку виробу, що ремонтується

При ремонті виробу наплавленням, заливанням (за допомогою зварювання, паяння тощо) на ремонтному кресленіку вказують найменування, марку, розміри матеріалу, що використовується під час ремонту, а також позначення стандарту на матеріал (рис. 4.6).

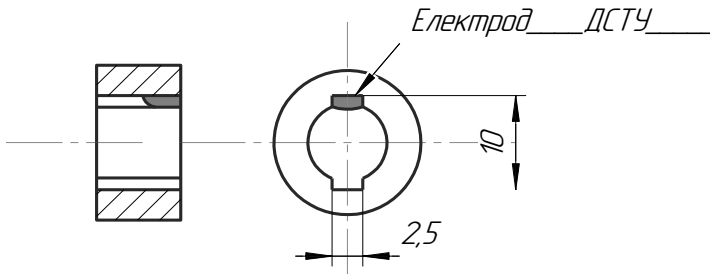


Рис. 4.6 – Приклад позначення найменування матеріалу

Якщо при ремонті виробу видаляють зношену частину та замінюють її на нову, то частину, що видаляється, зображують тонкою штрихпунктирною лінією з двома точками (рис. 4.7). Нову частину виконують на самостійному ремонтному кресленнику.

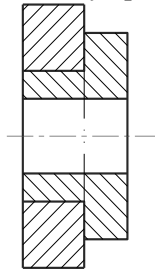


Рис. 4.7 – Приклад зображення нової частини

На ремонтному кресленнику виробу, для якого встановлені розміри пригону, при необхідності вказують настановні бази для підгонки «за місцем».

На ремонтних кресленниках категорійні та пригонні розміри, а також розміри виробу, що ремонтується зняттям мінімально необхідного шару матеріалу, проставляють літерними позначеннями, а їх числові значення та інші дані вказують на полицях ліній-виносок (рис. 4.8) або таблиці (рис. 4.9).



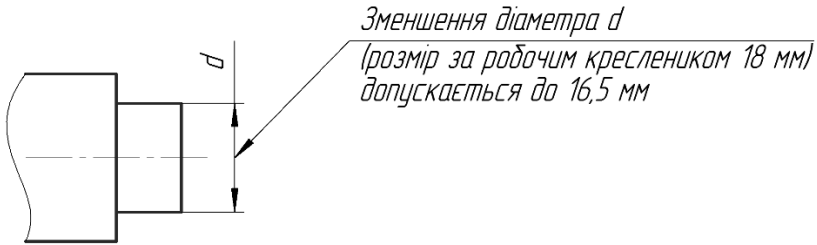


Рис. 4.8 – Приклад позначення розмірів

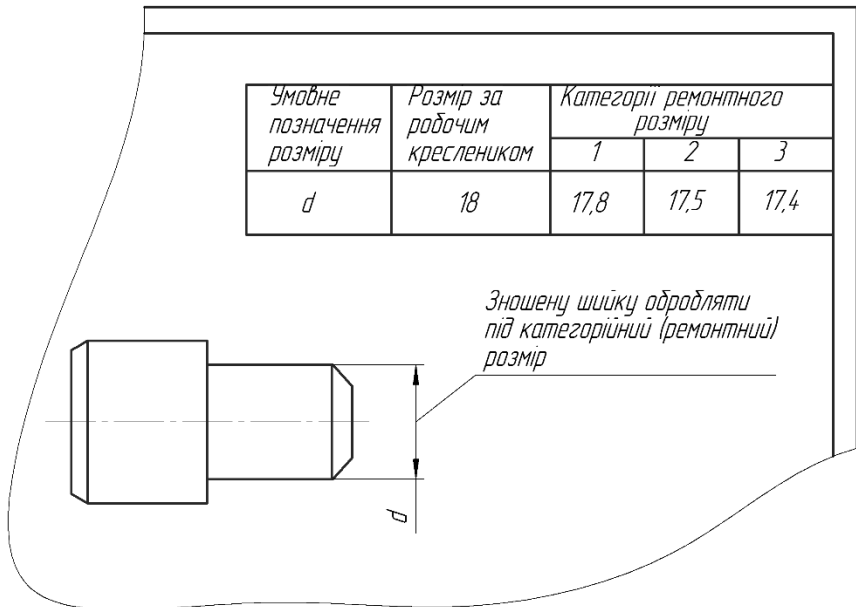


Рис. 4.9 – Приклад позначення розмірів в таблиці

На ремонтних креслениках у сполучених виробках з категорійними розмірами зберігається характер сполучення (квалітети точності, посадки, шорсткість та ін.), передбачений на робочих креслениках.

На ремонтних креслениках виробів для визначення способу ремонту поміщають технологічні вказівки, які є єдиними для відновлення експлуатаційних характеристик виробів.

Технологічні вимоги, що стосуються окремого елемента виробу, поміщають на ремонтному кресленику, як правило, поруч із відповідним елементом або ділянкою виробу.

Ці вимоги допускається не вказувати, якщо вони викладені в посібнику з ремонту або в технічних умовах ремонту.

На ремонтному кресленнику допускається вказувати одночасно кілька варіантів ремонту тих самих елементів виробів з відповідними роз'ясненнями на кресленнику. На кожний принципово відмінний варіант ремонту виробу виконують самостійний кресленик.

Якщо при ремонті виробу в нього вводять одну або кілька деталей (втулку, стопор тощо) або деталь при ремонті замінюють складальною одиницею, аналогічною деталі (тобто складається з декількох складових частин), то ремонтні кресленики виконують як складальне.

На ремонтних креслениках деталей зміст графі «Матеріал» основного напису має відповідати змісту аналогічної графі робочого кресленика деталі.

У ремонтних креслениках на виробі, що виготовляються в цьому випадку вказують позначення матеріалу за чинним стандартом.

Граничні відхилення розмірів 14 - 17-х квалітетів вказують на ремонтних креслениках з округленням до десятих часток міліметра.

На креслениках деталі розміри, необхідні для розрахунку нормативів часу на обробку, вибору обладнання (габаритні розміри), проектування оснащення тощо, для яких не потрібен контроль, проставляють у вигляді довідкових.

Таблицю дефектів виконують, як правило, в лівому кутку аркуша, під зображенням деталі. До таблиці заносять інформацію, яка характеризує дефекти і способи їх усунення.

У графі «Найменування дефекту» записують всі дефекти, за якими деталь згідно із технічними вимогами підлягає відновленню і їх нумерацію. Допускається при великій кількості дефектів записувати тільки основні або ті, які підлягають відновленню, дефекти. При цьому вказують характер дефекту (знос, тріщина, пошкодження тощо) і допустиме значення параметра, яке контролюють при дефектуванні деталі (допустимий розмір, овальність тощо).

Графу «Коефіцієнт повторюваності дефектів» у випадку відсутності даних не заповнюють.

У графах «Основний спосіб усунення дефекту» і «Допустимі способи усунення дефекту» у стислій формі записують основні операції, які потрібно виконати для усунення кожного дефекту.

Якщо застосовується зварювання, наплавлення, напилювання тощо, то у цих графах вказують найменування, марку, розміри

матеріалу (електрод, флюс тощо), який використовують у даній операції, а також номер стандарту на цей матеріал.

Під таблицею дефектів вказують умови і дефекти, за якими деталь не приймається на відновлення, а також технологічний маршрут відновлення за основним способом усунення дефектів.

Розміри граф таблиці не регламентуються і визначаються обсягом текстової частини і наявністю вільного поля кресленника.

Технічні вимоги виносять на поле кресленника над основним текстом, групуючи разом однорідні вимоги у такій послідовності:

- вимоги до термічної обробки і властивостей матеріалу відновленої деталі;

- розміри, граничні відхилення розмірів, форм і взаємного розташування поверхонь;

- вимоги до якості поверхонь, покриття і обробки.

На ремонтних кресленниках деталі при необхідності дають вказівки по базуванню при виконанні окремих операцій у вигляді схеми базування на вільному полі кресленника.

Приклад виконання ремонтного кресленника представлено на рис. 4.10.

#### **4.4 Технологічна документація на відновлення виробу**

**Технологічна документація** – сукупність документів, які визначають технологічний процес виготовлення виробу. Комплекс стандартів і керівних нормативних документів, що встановлюють взаємопов'язані правила і положення щодо порядку розроблення, комплектації, оформлення та обігу технологічної документації, що застосовується при виготовленні та ремонті виробів має назву “Єдина система технологічної документації” (ЄСТД).

В спрощеному вигляді це система міжнародних вимог до того, як саме має бути оформлена інформація про будь-який технічно складний виріб, продукцію чи товар. Така система оформлення інформації є придатною і для фіксації описання всіх необхідних техніко-технологічних процесів на рівні, який дозволяє відтворити матеріальне втілення будь-якого технічно складного продукту, в тому числі і технології.



Наша держава імплементувала до національної правової системи вимоги ЄСТД. Так, Наказом Міністерства економічного розвитку і торгівлі України від 28.07.2014 року, № 886, «Про прийняття національних стандартів України, гармонізованих з міжнародними та європейськими стандартами, міжнародних стандартів як національних стандартів України, міждержавних стандартів як національних стандартів України, змін до міждержавних стандартів, затвердження зміни до національного класифікатора України, змін до національних стандартів України, скасування національних стандартів України та міждержавних стандартів в Україні» було запроваджено цілий ряд Державних стандартів повністю уніфікованих із вимогами ЄСТД [8].

Технологічна документація згідно ДСТУ ГОСТ 3.1102:2014 поділяється на основні документи і допоміжні.

**Основні документи** – документи, що містять зведену інформацію, необхідну для вирішення однієї або комплексу інженерно-технічних, планово-економічних і організаційних задач і повністю та однозначно визначають технологічний процес чи операцію виготовлення або ремонту виробу. Основні документи поділяють на:

- документи загального призначення (для всіх видів різноманітних робіт).
- документи спеціального призначення (на технологічні процеси, спеціалізовані по окремих видах робіт).

**Допоміжні документи** – ті що застосовуються при розробці, впровадженні та функціонуванні технологічних процесів і операцій, наприклад, карта замовлення на проектування технологічного оснащення, акт впровадження технологічного процесу та ін. Допускається вказувати необхідні види допоміжних документів на галузевому рівні.

Комплектність технологічних документів визначається ДСТУ ГОСТ 3.1128:2014 Єдина система технологічної документації. Загальні правила виконання графічних технологічних документів (ГОСТ 3.1128-93, ІДТ).

До технологічних документів відносяться:

- **маршрутна карта** – це технологічний документ, що містить маршрутний або маршрутно-операційний опис операцій виготовлення чи ремонту виробу (його елементів), включаючи контроль і переміщення по усіх операціях у технологічній послідовності, з

вказівкою даних про обладнання, технологічне оснащення, матеріальні нормативи та трудові затрати;

- **карта ескізів** – графічний документ, що містить ескізи, схеми та таблиці, призначені для пояснення проведення технологічного процесу, операцій або переходу виготовлення (ремонту виробу), включаючи контроль і переміщення. Для обробки різанням ці карти виконують у вигляді ескізів налагоджування (схеми установи заготовок з вказанням отримуваних розмірів з допусками та шорсткості поверхонь обробки). Таблиці й схеми розміщують на вільному полі карти ескізу, праворуч від зображення або під ним; Карту **ескізів** виконують відповідно до ДСТУ 3.1105: 2014 «Єдина система технологічної документації. Форми і правила оформлення документів загального призначення» за формою 7 або 8. Приклад карти ескізів показано на рис. 4.11.

- **операційна карта** – це технологічний документ, що містить опис технологічної операції з вказанням послідовного виконання переходів, даних про засоби технологічного оснащення, режими та трудові затрати. Карти розробляють на усі операції в умовах серійного та масового виробництва і доповнюють маршрутною картою;

- **карта технологічного процесу** – це технологічний документ, що містить операційний опис технологічного процесу виготовлення або ремонту виробу (його складових частин) в технологічній послідовності за усіма операціями одного виду робіт, з вказанням переходів, технологічних режимів і даних про засоби оснащення, матеріальні та трудові нормативи.

- **карта налагодження** – документ, призначений для вказання додаткової інформації до технологічних процесів з налагодження технологічного оснащення.

- **техніко-нормувальна карта** – це технологічний документ, призначений для розроблення розрахункових даних до технологічних операцій за нормами часу та описання прийомів, які виконуються.

- **технологічна інструкція** – це технологічний документ, що містить опис технологічних процесів, методів і прийомів, що повторюються під час виготовлення або ремонту виробу, правил експлуатації засобів технічного оснащення;

- **комплектувальна карта** – це технологічний документ, що містить дані про деталі, складальні одиниці та матеріали, що входять до комплекту виробу.

- **відомості:** складальних одиниць, оснащення, матеріалів та ін.

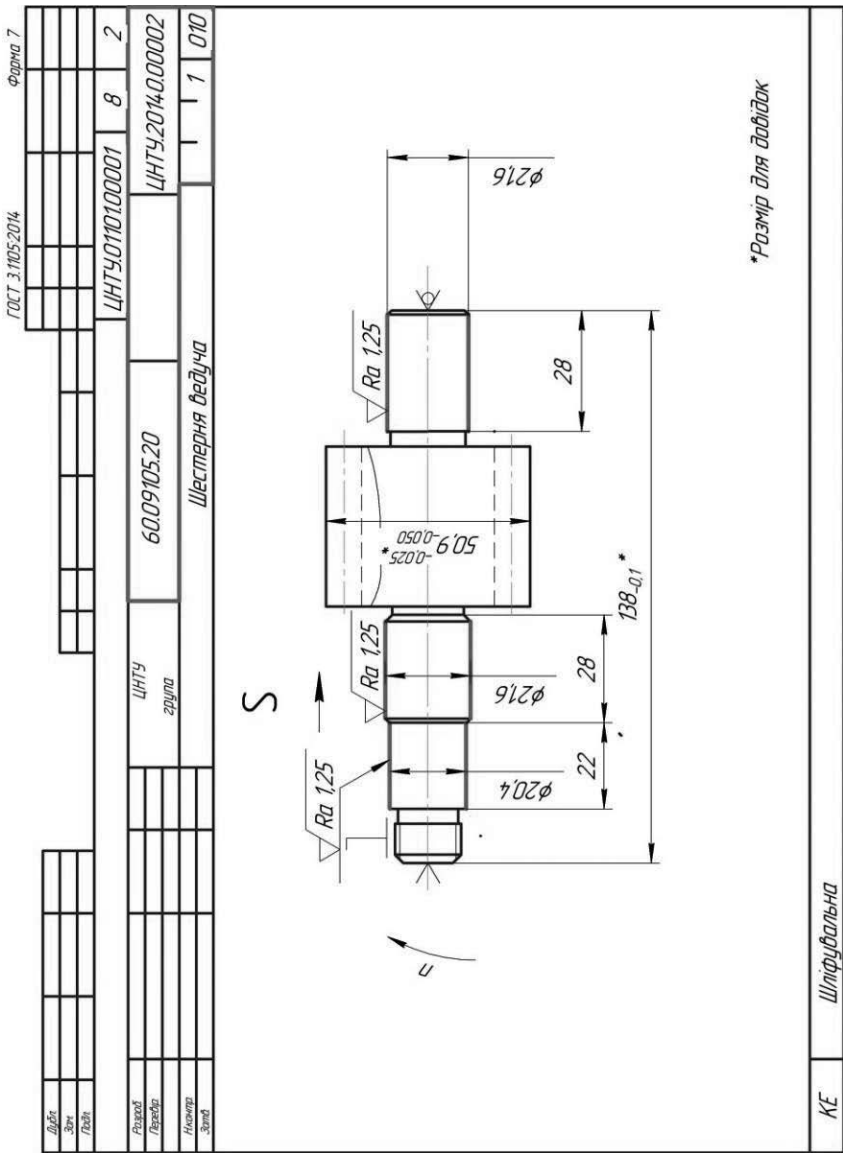


Рис. 4.11 – Карта ескізів

## Контрольні питання до розділу 4

1. Мета технологічної підготовки виробництва.
2. Основні етапи проектування технологічного процесу відновлення.
3. Послідовність вибору раціонального технологічного процесу відновлення.
4. Методи вибору процесу відновлення деталі.
5. Нормативна, технічна і конструкторська документація на відновлення деталей.
6. Перелік технологічної документації на відновлення виробу.



## РОЗДІЛ 5. ВІДНОВЛЕННЯ ТА ЗМІЦНЕННЯ ТИПОВИХ ДЕТАЛЕЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

### 5.1. Відновлення деталей двигунів самохідних сільськогосподарських машин

**5.1.1 Відновлення блоків циліндрів.** Основні дефекти блоків циліндрів та блок-картерів: тріщини у сорочці охолодження та в перемичках між посадковими місцями під гільзу, знос отворів під вкладиш втулки; короблення (неплощинність) привалочних площин і площин роз'єму; неспіввісність (биття), непаралельність осей та площин; неперпендикулярність осей та площин.

Тріщини в блоках можуть бути усунені холодним зварюванням самозахисним дротом ПАНЧ-11, залізо-нікелевими електродами МНЧ-2 або мідно-залізними електродами ОЗЧ-2. Добрі результати при зварюванні тріщин дає напівавтоматичне зварювання в середовищі аргону дротом МНЖКТ-5-1-02-02 (для чавуну) і дротом АН (для блоків з алюмінієвих сплавів).

Крім зварювання для усунення тріщин можуть використовуватися склади на основі епоксидних смол та шлюсарно-механічний спосіб, що здійснюється за допомогою спеціальних фігурних вставок (рис. 3.70), які стягують кромки тріщин. Розроблено комплекти інструментів для реалізації цього методу.

Комплект ОР-5586 призначений для усунення тріщин у верхніх перемичках блоків циліндрів тракторних двигунів. Він містить кондуктор, пробійник і набір вставок з чотирма заклепками діаметром 6 мм і міжцентровою відстанню 6,5 мм. За допомогою комплекту ОР-5623 можна усувати тріщини у верхніх і нижніх перемичках блоків циліндрів автомобільних двигунів.

Зношування гнізд корінних вальниць усувається контактним наварюванням стрічки, напилюванням, електролітичним осадженням і нанесенням полімерних композиційних покриттів. Контактне наварювання стрічки (сталь 20 або сталь 10) проводиться на спеціальній установці О11-1-11, що дозволяє відновлювати отвори діаметром 80...300 мм.

Технологічний процес складається з трьох етапів: підготовки до наварювання, наварювання та механічної обробки навареного шару.

Технологічний процес газополум'яного напилювання гнізд блоку включає підігрів до температури 60...100 °С, напилювання підшару порошком ПТ-НА-01 товщиною 0,08...0,1 мм за один прохід, напилювання основного покриття, наприклад порошком ПГ -19Н-01 з урахуванням припуску на механічну обробку 0,4...0,6 мм.

Технологія відновлення чавунних кришок під вкладиші включає ті самі операції. Постелі обробляються в зборі шляхом розточування з використанням твердосплавного інструменту.

При відновленні посадкових місць блоків циліндрів двигунів електролітичним осадженням застосовуються електронатирання та позаванне осадження покриттів.

Для покриттів товщиною більше 0,2 мм на бік використовується позаваний проточний спосіб осадження. При такій технології найбільш широке поширення набуло пристосування для одночасного залізнення всіх гнізд корінних вальниць блоку двигуна, що являє собою спільну закриту електролітичну комірку, через яку прокачується електроліт.

При відновленні зношених поверхонь блок циліндрів встановлюють у вертикальне положення та монтують на ньому електролітичну комірку (рис. 5.1).

Центральна деталь комірки – плита 8, що складається з двох листів, виготовлених з ізоляційного матеріалу, на внутрішніх боках яких в пазах встановлені шини 17. Аноди 9 прикріплені до плити гвинтами 14. Гумові втулки у вигляді півкільць 7 (армовані для жорсткості) закріплені на плиті гвинтами 10. У нижній 12 і верхній 4 кришках знаходяться штуцери, які підводять 13 і відводять 2 електроліт. Герметизація і поділ порожнин у кришках на дві незв'язані одна з одною електролітичні комірки досягається гумовою прокладками 5 і 11.

Пристрій на блоці монтують у такій послідовності: відвинчують гайки 16 і знімають кришки 6 корінних вальниць, потім на шпильки 15 встановлюють плиту 8, ставлять кришки 6 і загвинчують гайки 16. З торців блоку циліндрів 1 встановлюють з гумовими прокладками нижню та верхню кришки. Джерело струму підключають до шин 3 та блоку 1.

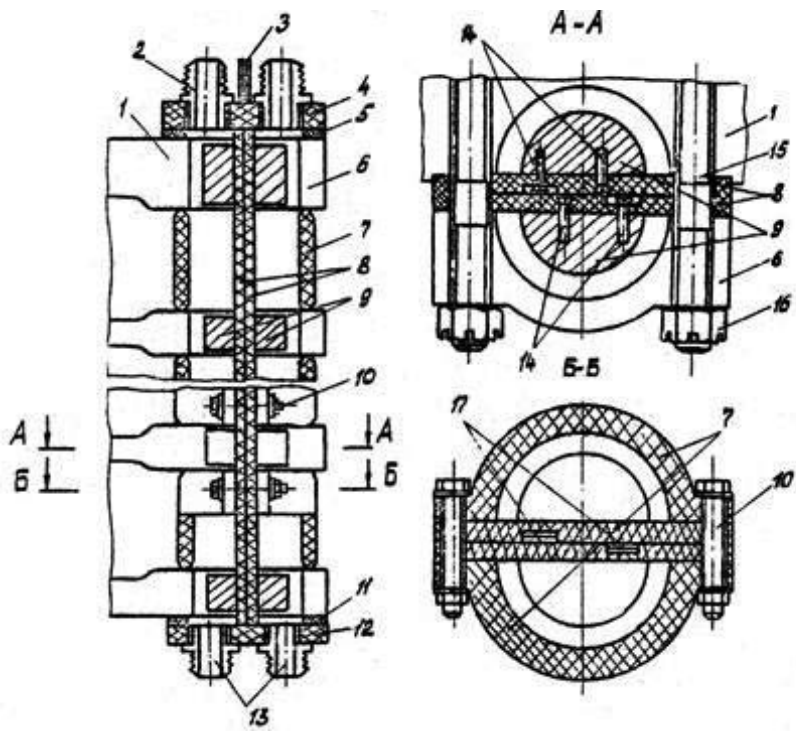


Рис. 5.1 – Електролітична комірка для відновлення посадочних місць блоків циліндрів: 1 – блок; 2, 13 – штуцери; 3, 17 – шини; 4, 12 – кришки; 5, 11 – гумові прокладки; 6 – кришки вальниць; 7 – напівкільця; 8 – плита; 9 – аноди; 10, 14 – гвинти; 15 – шпильки; 16 – гайки

Через підвідні штуцери порожнини електролітичних комірок заповнюють 30...40%-м розчином ортофосфорної кислоти. Анодну обробку проводять при температурі 18...25 °С протягом 2,5...4 хв за такої густини струму, А/дм<sup>2</sup>: для алюмінієвого сплаву – 4...8; для чавуну – 10...12.

Після анодної обробки та промивання холодною водою через порожнини електролітичних комірок прокачують цинко-нікелевий електроліт такого складу, г/л: 200-250 сірчаноокислого цинку; 30-50 сірчаноокислого нікель-амонію; 20-30 сірчаноокислого алюмінію. Режимы електролізу: рН = 1,5-2,5; температура 18...45 °С, густина

струму 10...16 А/дм<sup>2</sup>, міжелектродний зазор 10 мм, швидкість протікання електроліту 5...10 см<sup>2</sup>/с. Можуть застосовуватися як розчинні, і нерозчинні аноди.

Технологічний процес відновлення постелей корінних вальниць складами на основі епоксидних смол включає такі операції: розточування постелей до усунення слідів зносу; знежирення поверхні ацетоном; установлення гумових заглушок в отвори оливних каналів; нанесення на поверхню калібрувальної оправки розділового шару (як розділовий шар використовується 5%-й розчин поліізобутилену в бензині); нанесення шару епоксидного складу на поверхню; його затвердіння.

Час повної полімеризації складу на основі епоксидної смоли становить 20...160 год при 20°C. Використання електромагнітного поля для прискорення затвердіння дозволяє виконати цю операцію при кімнатній температурі за 3...4 год., причому котушки соленоїда вмикають лише на 40 хв.

**5.1.2 Відновлення колінчастих валів.** Основний дефект колінчастих валів – спрацювання шатунних та корінних шийок. У практиці застосовують два методи усунення дефектів: механічну обробку під ремонтні розміри та відновлення номінальних чи ремонтних розмірів нарощуванням шийок валу.

Метод обробки під ремонтні розміри, незважаючи на його недоліки, широко використовується на ремонтних підприємствах через низьку вартість та простоту. Крім того, аналіз ремонтного фонду показує, що на долю колінчастих валів з гранично зношеними (нижче останнього ремонтного розміру) шийками припадає трохи більше 7...10%.

Основний резерв підвищення ресурсу колінчастих валів, відновлених під ремонтні розміри, – застосування зміцнювальної обробки, в першу чергу способами ППД і лазерного термозміцнення. Технологія лазерного зміцнення колінчастих валів передбачає чистове шліфування шийок, нанесення поглинаючого покриття, обробку променем лазера, полірування шийок. Лазерні доріжки зміцнення наносять на робочу поверхню валу по гвинтовій лінії з коефіцієнтом заповнення зони зміцнення 70...90%. Оптимальний режим обробки: потужність випромінювання 700...750 Вт; діаметр променю в зоні

обробки 3...3,5 мм; подача променю 3,5...4,0 см/хв.; частота обертання деталі 4...4,5 хв<sup>-1</sup>.

Результати стендових та експлуатаційних випробувань двигунів ЗМЗ-53 із зміцненими колінчастими валами показали, що зносостійкість зміцнених шийок у 1,9-2,1 рази вища, ніж зносостійкість шийок, які не зміцнювали.

Для підвищення якості поверхонь шийок колінчастих валів, збільшення швидкості їх припрацювання доцільно надавати шийки фінішній антифрикційній безабразивній обробці (ФАБО), сутність якої полягає в тому, що поверхні тертя шийок покривають тонким шаром латуні, бронзи або міді шляхом використання явища переносу металу при терті. Товщина перенесеного матеріалу 1...3 мкм.

Відновлення шийок колінчастих валів до номінальних розмірів, насамперед, можливе за рахунок застосування різних наплавлень. Відомі технології відновлення сталевих колінчастих валів наплавленням можна умовно поділити на дві групи: наплавлення з подальшою термообробкою та наплавлення під легованим флюсом без подальшої термообробки.

До першої групи насамперед необхідно віднести технологію, що полягає в напавленні шийок валів дротом Нп-30ХГСА під флюсом АН-15 з подальшою нормалізацією, токарною обробкою, загартуванням шийок СВЧ, шліфуванням та поліруванням. Відновлені за такою технологією вали мають таку ж границю утомної міцності, як у гранично зношеного валу.

Існують також інші варіанти дугового напавлення колінчастих валів у поєднанні з різними видами термообробки.

1. Попередній підігрів всього валу та/або місцеве нагрівання шийок до температури 300...450°C. Напавлення шийок дротом Нп-30ХГСА під флюсом АН-348А з подальшим відпуском, гартуванням СВЧ, низькотемпературним відпуском та механічною обробкою.

2. Напавлення високовуглецевим пружинним дротом 2-го класу (ПК-2) під флюсом АН-348А з подальшою механічною обробкою, високотемпературним відпуском, загартуванням шийок СВЧ, шліфуванням і поліруванням.

3. Напавлення шийок електродним дротом Св-08 під флюсом АН-348А з наступним газовим азотуванням при температурі 570<sup>+10</sup>°С (час витримки 12 год.) і поліруванням шийок.

До другої групи технологій відносяться;

1) наплавлення циліндричної частини шийки дротом Нп-30ХГСА під сумішшю флюсів АН-348А (20%) та АНК-18 (80%) з попереднім підігрівом валу до температури 200...220 °С і з подальшим чорновим шліфуванням, підрізанням галтелей (рис. 5.2), дробоструминною та чистою обробкою;

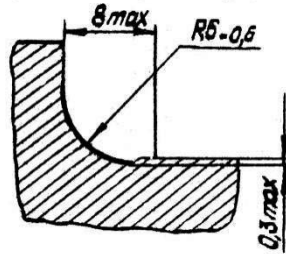


Рис. 5.2 – Схема обробки галтелі колінчастого валу після наплавлення шийки

2) наплавлення високовуглецевим пружинним дротом 2-го класу під флюсом АН-348А з додаванням ферохрому, графіту та рідкого скла;

3) широкошарове наплавлення шийок вздовж твірної електродом, що коливається, без заплавлення галтелей дротом Нп-30ХГСА під сумішшю флюсів АНК-18 (70-80%) і АН-60 (20-30%);

4) наплавлення шийок порошковим дротом ПП-АН-122 під флюсом АН-348 з подальшою електроконтактною обробкою наплавлених поверхонь замість чорнового шліфування;

5) наплавлення з попереднім підігрівом до 200 °С дротом Нп-70 під флюсом АН-348А, легування ферохромом і ферованадієм;

6) плазмове наплавлення комбінованим способом; полягає в тому, що в зону наплавлення одночасно подаються порошок з живильника транспортуючим газом і дріт механізмом подачі (рис. 5.3).

Наплавлення починають із корінних шийок. Перший валик наплавляють по кільцю, потім вмикають механізм поздовжньої подачі і ведуть наплавлення по гвинтовій лінії, яку завершують також кільцевим валиком, не доходячи до галтелі 4...6 мм. Після наплавлення циліндричної частини відключають пряму дугу та подачу наплавних матеріалів, переводять плазмотрон до галтелі. За

допомогою поворотного механізму плазмотрон нахиляють під заданим кутом і наплавлення галтелі виконують кільцевими валиками.

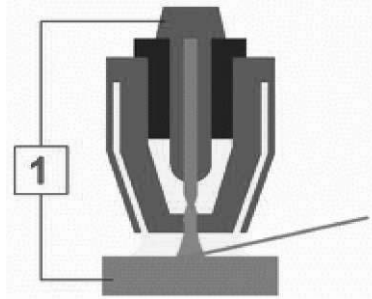


Рис. 5.3 – Схема плазмового наплавлення комбінованим способом

Різні способи відновлення чавунних колінчастих валів наведено в табл. 5.1.

Однією з основних проблем чавунних валів, що виникають при наплавленні, є їх деформація (укорочення на 2,8...3,2 мм).

Ефективні засоби боротьби з укороченням валу – його жорстке кріплення в процесі наплавлення та термічна обробка, яку рекомендується виконувати за таким режимом: повільне нагрівання деталі разом із піччю протягом 3 год. до 650 °С, витримка при цій температурі 3 год, охолодження разом із піччю до 350 °С, подальше охолодження – на повітрі.

Процеси наплавлення колінчастих валів постійно удосконалюються у напрямі підвищення їхньої продуктивності за рахунок застосування багатоелектродного наплавлення, автоматизації процесів, створення спеціалізованих верстатів.

Багатоелектродне наплавлення колінчастих валів підвищує продуктивність процесу в 2-5 разів.

На рис. 5.4 зображено схему процесу багатоелектродного наплавлення колінчастих валів під шаром флюсу в роздільні зварювальні ванни.

На поверхню шийки за один оберт одночасно наплавляють без перекриття паралельні кільцеві валики, число яких залежить від довжини шийки, що нарощується, і обмежується потужністю джерела струму.

Таблиця 5.1 – Способи відновлення чавунних колінчастих валів

Спосіб наплавлення	Умове позначення способу	Деформація (укорочення), мм	Втомна міцність		Знос шийок, мкм/1000 км		T <sub>H</sub> /T <sub>B</sub>
			Границя міцності, МПа	Запас утомної міцності	шагунних	корінних	
Вібродугове наплавлення пружинним дротом II класу в водно-кисневому середовищі	В	0,1-0,5	8,0	0,97	25	35	4,57
Наплавлення порошковим дротом ПП-АН-122 в два шари	П	0,8-1,0	9,0	1,1	–	–	0,63
Наплавлення дротом Нп-15ГСТЮЦА під флюсом АН-348А	Г	0,5-0,8	8,0	0,97	–	–	0,60
Наплавлення дротом Св-08 під шаром легуючого флюсу по металевій оболонці	М	0,5-0,8	8,0	0,97	–	–	1,23
Широкошарове наплавлення дротом Св-08 з феромагнітного шихтою	Ш	2,5-3,5	4,5	0,54	4,5	4,3	0,613
Те ж з подальшим високотемпературним відпуском	ШТ	0,8-1,0	11,5	1,4	4,5	1,3	0,613

**Примітка:** 1. Запас утомної міцності дорівнює відношенню границі міцності вала, відновленого методом, що розглядається, до максимального значення напружень у колінчастому валу, що викликаються дією зовнішніх знакозмінних навантажень у двигуні.

2. Границя та запас утомної міцності нового колінчастого вала відповідно рівний 14,1 МПа та 1,7.

3. T<sub>H</sub> і T<sub>B</sub> – терміни служби або напрацювання до граничного стану чи відмови нової та відновленої деталі.



При наступному оберті деталі вмикають другий механізм подачі, і друга група з  $n+1$  електродів заплавляє проміжки між першими валиками.

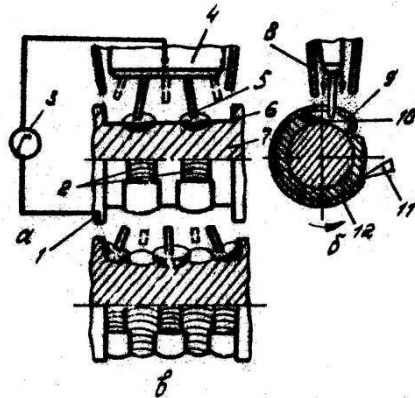


Рис. 5.4 – Схема багатоелектродного наплавлення в роздільні зварювальні ванни: а – наплавлення першої групи  $n$  валиків; б – видалення шлакової кірки; в – наплавлення другої групи  $n+1$  валиків; 1 – струмопровід; 2 – наплавлені валики; 3 – джерело струму; 4 – мундштук; 5 – електрод; 6 – зварювальна ванна; 7 – шийка вала; 8 – флюсопідвід; 9 – газовий пузир, 10 – розплавлений метал; 11 – скребок; 12 – шлакова кірка

Використовуючи електродний дріт різноманітного складу при цьому виді багатоелектродного наплавлення можна отримувати наплавлений шар різного складу. Так, всю поверхню шийки можна наплавляти електродами, що забезпечують високу твердість, а галтелі – електродами, що створюють достатню пластичність.

Для зняття внутрішніх напружень наплавлені вали відразу після операції наплавлення рекомендується поміщати на спеціальний вібраційний стенд.

Способи ППД дають можливість підвищити границю втомної міцності наплавлених колінчастих валів. У першу чергу поверхневому зміцненню піддають галтелі шийок.

Найбільш доцільне застосування дробоструминної обробки, що дозволяє отримати зміцнений шар 0,2...0,3 мм, що

підвищує втомну міцність на 25% і виключає короблення валів, яке може з'являтися при інших видах ППД (обкатуванні, віброобкатуванні тощо).

Крім способів наплавлення використовуються також способи відновлення колінчастих валів, які ґрунтуються на напилюванні металу та припиканні металевих порошоків.

Серед різних способів напилювання найбільший інтерес викликає детонаційне напилювання шийок колінчастого валу оксидом алюмінію. Детонаційні покриття через невисоку температурну дію на структуру основного металу практично не знижують утомну міцність відновлюваних деталей. Оксидні покриття обробляються алмазною полірувальною стрічкою.

Газополум'яне напилювання порошоків здійснюється «холодним» способом, тобто без подальшого оплавлення: спочатку наноситься підшар з порошку ПТ-НА-01, а потім основний шар, наприклад, з порошку ПТ-19Н-01. Підшар на шийки наносять по порядку, а основний шар напилюють через одну шийку, починаючи з першої. Шатунні шийки напилюють після корінних.

Металеві порошки до шийок колінчастого валу припикають у такій послідовності. Металевий порошок поміщають у пакет або секційовану стрічку в поліетиленовій оболонці. Шийку валу з двома пакетами затискають між електродами і при обертанні валу відбувається припикання порошку (рис. 5.5). Незважаючи на розплавлення оболонки пакетів порошок утримується біля електрода внаслідок дії магнітного поля. Плоска форма електродів дозволяє отримувати шар товщиною 1,5...1,7 мм й відновлювати гранично зношені вали як сталеві, так і чавунні.

Порошок припикають при напрузі 3,8...5 В, струмі 10...15 кА, тиску 15...20 МПа, частоті обертання деталі 0,7...0,9 хв<sup>-1</sup>. Для зменшення укорочення і прогину валу в процесі припикання до нього прикладається розтягуюче зусилля 400...700 Н. Як присадний матеріал використовується залізний порошок марки ПЖЗМЗ, науглецьований до вмісту в ньому 1,0...1,1% вуглецю. Для цього використовують твердий карбюризатор.

Після нарощування шийок колінчастий вал піддають правці. Сталеві вали двигунів правлять у холодному, а чавунні – у підігрітому до 670...690 К стані. Колінчасті вали, що пройшли правку, надходять на просочення припеченого шару оливою.

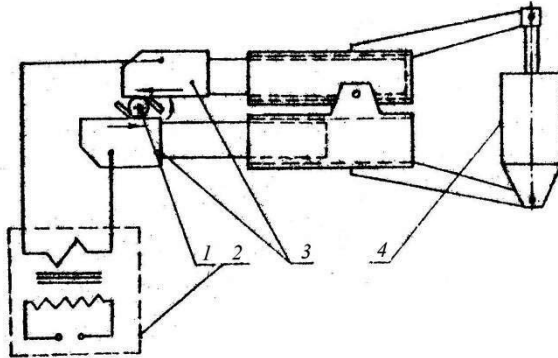


Рис. 5.5 – Схема припикання порошку на шийку колінчастого вала: 1 – шийка; 2 – джерело струму; 3 – електроди; 4 – пневмоциліндр

Колінчасті вали двигунів повинні піддаватися динамічному балансуванню перед завершальною операцією технологічного процесу відновлення, тобто. перед поліруванням шийок. Балансувальна машина БМ-У4 дозволяє протягом 10...15 с після пуску визначити значення та місце дисбалансу колінчастого вала з високою точністю.

Для комплексного контролю відновлених колінчастих валів (насамперед, їхніх геометричних параметрів) застосовується стенд КИ-55071.

**5.1.3 Відновлення поршнів двигунів.** Основні дефекти поршнів: знос канавок під компресійні кільця; знос юбки поршня по діаметру та знос отвору в бобишках поршня. Поршні, придатні до відновлення, направляють на очищення в розплаві солей, що містить 65% їдкою натру, 30% азотно-кислого натрію і 5% хлористого натрію. Температура плавлення солей 375...400°C, час витримки 10 хв. Після соляної ванни поршні промивають водою, обробляють 10%-ю азотною кислотою при температурі 20°C і промивають гарячою водою.

Зношені канавки заплавляють плазмово-дуговим способом на установках ОКС-27495, СИ-130 або на верстаті наплавлення У-651 з пристосуванням для наплавлення поршнів.

Наплавлення може здійснюватися спеціальною порошковою стрічкою-плющенкою, алюмінієвим дротом марки СВАСГ або композиційним алюмінієвим дротом, армованим волокнами нікелю, ніхром, молібдену, вольфраму та ін.

В результаті проплавлення зони під верхнє компресійне кільце композиційним дротом в матеріал поршня вводиться до 10...15% легуючих елементів. Зношування зміцненої зони зменшується в 3-4 рази, а опір циклічному ударному навантаженню зростає в 2-3 рази в порівнянні з застосовуваними поршневыми алюмінієвими сплавами.

Режими наплавлення алюмінієвих поршнів тракторних двигунів діаметром 100-140 мм наведено в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Режимы наплавлення поршнів

Параметри режиму	Для канавки	Для юбки
Зварювальний струм, А	100-140	80-110
Струм дуги непрямої дії, А	70	60
Напруга дуги, В	30-40	30-35
Витрати плазмоутворюючого газу, л/хв	1,5-3,0	1,3-1,8
Швидкість наплавлення, см/с	0,34-0,48	0,4-0,56
Швидкість подачі дроту, м/год	80-140	65-120
Товщина шару, мм	1,4-2,0	0,9-1,2
Крок наплавлення, мм/об	4-6	6-8

**Примітка.** Постійні параметри наплавлення: витрата захисного газу (аргону) 10...16 л/хв; витрата охолоджувальної води не менше 4 л/хв.; діаметр присадного дроту 1,5...2 мм; відстань між плазмотроном і поршнем 10...16 мм; діаметр плазмоутворюючого сопла плазмотрону КАМА-ІМ 4,5; довжина каналу плазмоутворюючого сопла 4,8 мм; полярність зворотна; ширина шару 12...16 мм.

Після наплавлення головку поршня та верхню канавку під кільце компресійне обробляють до номінальних розмірів і полірують зовнішню поверхню поршня.

Юбка поршня відновлюється різними способами електролітичного осадження.

Розроблено технологію нанесення електролітичних залізо-цинкових покриттів на юбку поршня у ванні такого складу, г/л: цинк сірчаноокислий – 200, залізо сірчаноокисле – 40; амоній хлористий – 15; натрій лимоннокислий – 15; кислота борна – 20; кислота сірчана – 1...2. Режими нарощування: температура розчину 45°C; густина струму 2...6 А/дм<sup>2</sup>; рН = 2,5...3. Час осадження не перевищує 30...40 хв. Крім ванного осадження залізо-цинковий метал може наноситися на поршень методом електронатирання.

Для підвищення ресурсу циліндро-поршневої групи як антифрикційне покриття на юбку поршня доцільно наносити електролітичні полімерометалеві покриття на основі міді.

Діаметр юбки поршня можна відновлювати методами ППД. При цьому діаметр збільшується за рахунок висадки металу при вібраційному накочуванні алмазним наконечником або зануренням в метал юбки (по всій її довжині) роликowego інструменту для отримання на поверхні ромбоподібних площинок.

У першому випадку режими накочування такі: зусилля 100...200 Н; частота коливань інструменту 24 с<sup>-1</sup>; амплітуда коливань 1,1 мм; поздовжня подача 0,78 мм/об; частота обертання деталі 20 хв<sup>-1</sup>; радіус алмазного наконечника 1 мм. Збільшення діаметра юбки в цих умовах 0,06...0,15 мм.

Інша технологія дозволяє збільшити діаметр юбки на 0,5 мм і, крім висадки, передбачає операцію згладжування нерівностей роликowym накатником. Крім збільшення розмірів, наведені способи обробки дозволяють створити на поверхні тертя поршня певний мікрорельєф, що покращує умови змащення циліндро-поршневої групи.

**5.1.4 Відновлення поршневих пальців.** Для централізованого відновлення поршневих пальців автотракторних двигунів переважно застосовуються дві технології: гідротермічної роздачі (ГТР) – для пальців дизельних двигунів та роздачі з використанням

електрогідравлічного ефекту (ЕГЕ) – для пальців бензинових двигунів.

Сутність способу ГТР полягає в тому, що зношений поршневий палець нагрівають в індукторі установки СВЧ до температури вище точки  $A_{C3}$ , а потім на спеціальній установці пропускають через його внутрішній отвір воду. При цьому збільшується зовнішній діаметр пальця на 0,1...0,3 мм і одночасно загартовується цементована зовнішня поверхня деталі. Після роздачі поршневі пальці піддають чорновому шліфуванню на безцентрово-шліфувальному верстаті, шліфуванню торців, знімають фаски і полірують зовнішню поверхню.

Прирощення діаметра поршневих пальців карбюраторних двигунів, виготовлених із середньовуглецевої сталі, способом ГТР утруднене через порівняно невелику товщину їх стінок (4...5 мм проти 8...10 мм у дизельних двигунів).

Принципова схема установки для відновлення поршневих пальців з допомогою ЕГЕ зображено на рис. 5.6, а, а схема однієї з секцій технологічного вузла – на рис. 5.6, б. Поршневий палець, що підлягає роздачі, ставлять у неметалевий технологічний патрон разової дії, який служить для направлення електричного розряду по осі деталі і виключає пробій на його бічну поверхню. Для підвищення ефективності процесу в порожнині ніжки патрона вмонтовано спеціальний провідник. Палець із патроном встановлюють на поворотний стіл технологічного вузла та підводять до рухомого електрода. Одночасно в порожнину пальця надходить робоча рідина. При замиканні ланцюга установки високовольтний імпульс проходить від батареї конденсаторів через формуючий повітряний проміжок (кульовий розрядник) на позитивний електрод, провідник, негативний електрод. В результаті електрогідравлічного вибуху та впливу ударної хвилі на поршневий палець він роздається по зовнішньому діаметру.

Встановлено такі оптимальні технологічні режими відновлення пальців за допомогою ЕГЕ: напруга розрядного контуру 37 кВ, ємність батареї конденсаторів 6 мкФ, матеріал вибухового патрона – поліетилен марки ПЭВ-500; матеріал

провідника - алюмінієвий дріт діаметром 0,7 мм; передавальне робоче середовище – технічна вода.

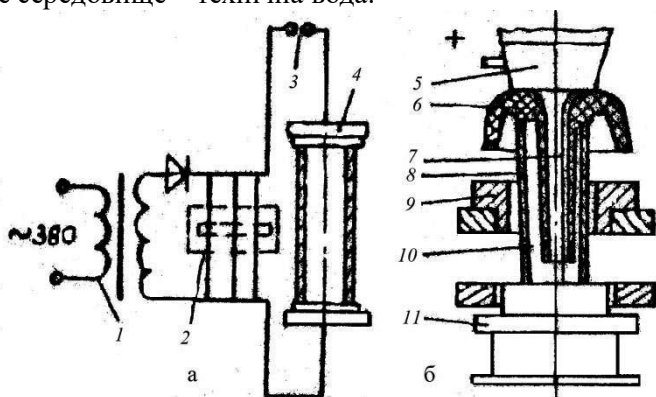


Рис. 5.6 – Установа для роздачі поршневих пальців за допомогою ЕГЕ: а – схема установки; б – схема секції технологічного вузла; 1 – випрямний пристрій; 2 – блок накопичення енергії; 3 – формуючий кульовий розрядник; 4 – технологічний вузол; 5 – рухомий позитивний електрод; 6 – патрон; 7 – вибуховий дріт; 8 – поршневий палець; 9 – матриця; 10 – порожнина, заповнена рідиною; 11 – негативний електрод

При цих режимах роздачі пальців вдається досягти залишкової деформації по зовнішньому діаметру, що дорівнює 0,13 мм (для пальців зі сталі 15Х) і 0,2 мм (для пальців зі сталі 45).

**5.1.5 Відновлення гільз циліндрів.** Гільзи циліндрів відносяться до деталей, які необхідно відновлювати на великих централізованих підприємствах із застосуванням потоково-механізованих ліній (ПМЛ).

У основу ПМЛ для відновлення гільз тракторних двигунів може бути використана технологія відновлення гільз до нормальних розмірів способом термопластичного обтискання.

Зношену гільзу (рис. 5.7) встановлюють у матрицю та за допомогою індуктора 3 нагрівають струмом високої частоти.

Внаслідок обмеження вільного розширення в ній наростають температурні напруження, що викликають у радіальному напрямку пластичні деформації, які збільшуються з підвищенням температури.

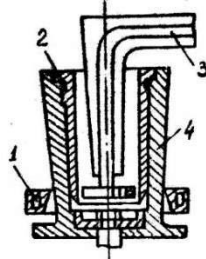


Рис. 5.7 – Схема процесу термопластичного обтискання гільз:  
1 – спреєр; 2 – гільза; 3 – індуктор; 4 – матриця

При вільному охолодженні розміри гільзи зменшуються як в осьовому, так і радіальному напрямках. Зменшення діаметра залежить від товщини стінки, матеріалу, температури, швидкості нагрівання та інших факторів. Так, у гільз циліндрів тракторного двигуна при оптимальних значеннях температури та швидкості нагрівання усадка становить 0,75...0,90 мм. З урахуванням припуску на подальшу механічну обробку (0,2...0,3 мм) способом термопластичного обтискання можна відновлювати 90% гільз двигунів.

При термопластичному обтисканні відбувається часткове зміцнення металу. Твердість внутрішньої поверхні гільз після обтискання збільшується на 2...3%, зносостійкість зберігається.

Для відновлення гільз індукційним відцентровим наплавленням на внутрішній поверхні гільзи у верхній частині (у зоні найбільшого зносу) на відстані 4 мм від бурта проточується кільцеве заглиблення (проточка) 3,0...0,5 мм завширшки близько 70 мм. Для кращої зварюваності ділянка гільзи повинна мати грубу поверхню (не вище 1-го класу шорсткості).

Підготовлена деталь встановлюється в спеціальному патроні автоматизованої установки (рис. 5.8). Гільзі надається



частота обертання 750-950 об/хв, після чого в проточку подається шихта – суміш порошків флюсу і наплавного матеріалу. Флюс містить, %: азотнокислого вісмуту (неосновного) – 10, бури – 45, борного ангідриду – 45. У якості наплавного матеріалу використовується порошок, що самофлюсується, ПГ-ХН80СР3.

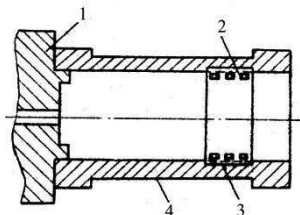


Рис. 5.8 – Схема індукційного відцентрового наплавлення гільз циліндрів: 1 – кулачки обертача; індуктор; 3 – шихта; 4 – відновлювана гільза

Шихта розплавляється в високочастотному індукторі. Температура нагрівання зовнішньої поверхні циліндра в зоні наплавлення рекомендується в межах 1300...1320 К. Твердість наплавленого шару коливається в діапазоні HRC 55-58.

Для зняття внутрішніх напружень, що виникають через нерівномірне нагрівання гільзи по довжині і викликають деформацію гільзи, проводиться відпуск при температурі 823 К. Випробування показали, що зносостійкість гільз з наплавленим пояском в 4-5 разів вище в порівнянні з новими.

Приблизно за такою ж схемою наносяться порошкові покриття, але в режимі припикання.

Частота обертання гільзи при нагріванні СВЧ при цьому способі досягає 900 ... 1000 хв<sup>-1</sup>, тривалість нагріву 150 ... 180 с. В якості порошку, що наноситься, використовується порошок ПГ-СР2 наступного хімічного складу, %: 0,2-0,5 вуглецю, 12-15 хрому, 2,0-3,0 кремнію, 1,5-2,1 бору, менше 5,0 заліза, 0,04 сірки, 0,04 фосфору, решта – нікель.

Використовується також відновлення гільз методом відцентрового газополум'яного напилювання порошку типу СНГН на внутрішню поверхню з подальшим оплавленням шару СВЧ.

Перспективним способом відновлення є контактне наварювання стрічки або припикання порошку до внутрішньої поверхні гільз. Для цього розроблено спеціалізовану установку 011-1-06, що дозволяє в напівавтоматичному режимі відновлювати гільзи з внутрішнім діаметром 100...300 мм.

Гільзи циліндрів автотракторних двигунів відновлюються також установкою легкознімних сталевих згортальних пластин. Для цього можуть бути рекомендовані стрічки, виготовлені зі сталей марок У8А, У10А, 65Г, 70С2ХА.

Технологічний процес відновлення гільзи циліндрів установкою легкознімних сталевих пластин складається з таких операцій: розточування та хонінгування циліндра; виготовлення зі стрічки мірних пластин; установки пластини у пристосуванні та згортанні її у втулку; зняття фаски в отворі торця гільзи, через який запресовується пластина; установки пристосування у зборі зі згорнутою пластино-втулкою на відновлювану деталь та запресування послідовно двох пластин у гільзу; зняття фаски в отворі запресованої пластини-втулки; обробки (хонінгування) "дзеркала" циліндра.

На рис. 5.9 показаний захоплювач для згортання пластин та введення їх у прес-форму. Ширина напівкільця повинна бути в 2 рази менше ширини пластини.

Для попереднього згортання пластини необхідно встановити захоплювач на плиту в розведеному стані, вставити пластину між опорною оправкою та захоплювачем (рис. 5.9, а), звести рукоятки (рис. 5.9, б) та вставити згорнуту пластину в матрицю (рис. 5.9, в). Для переміщення пластин з прес-форми в деталь (рис. 5.9, г) використовують гідравлічні преси.

Наведений спосіб відновлення гільз вимагає високої технологічної дисципліни.

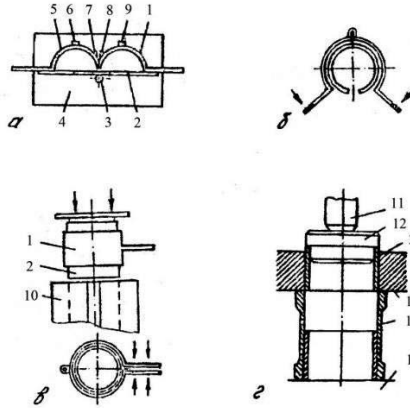


Рис. 5.9 – Схема процесу встановлення пластин у гільзу циліндра: а – розміщення захвату і пластини на плиту в вихідному положенні; б – схема згортання пластини; в – введення згорнутої пластини в прес-форму; г – переміщення згорнутої пластини з прес-форми в деталь; 1 – праве півкільце захвату; 2 – пластина; 3 – стрижень-упор; 4 – плита; 5 – ліве півкільце захвату; 6-9 – упори півкільця; 10 – прес-форма; 11 – шток гідропреса; 12 – ступінчаста оправка; 13 – деталь; 14 – стіл

Важливий резерв підвищення якості відновлення гільз циліндрів – удосконалення механічної та зміцнювальної обробки гільз. Насамперед слід назвати технологію плосковершинного алмазного хонінгування. Цей процес формує мікропрофіль, що має велику опорну поверхню з поглибленнями – оливними кишнями (рис. 5.10).

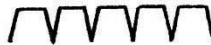


Рис. 5.10 – Профіль поверхні після плосковершинного хонінгування

Попереднє хонінгування гільз рекомендується проводити брусками АСБ 125/100 МК2 зі 100%-й концентрацією алмазів, а операцію фінішного хонінгування – спеціальними брусками МА, в яких за основу взято зв'язку МКЗ,

а алмази замінено антифрикційним наповнювачем (дисульфідом молібдену) та м'яким абразивом.

Як МОР використовують суміш з 85% гасу і 15% оливи «Індустріальне-20». Режим обробки: колова швидкість 45 м/хв, швидкість зворотно-поступального руху 8 м/хв, тиск 0,3 МПа, час 10...30 с.

В результаті застосування плосковершинного хонінгування продуктивність механічної обробки гільз підвищується в 1,34 рази, тривалість холодного припрацювання скорочується на 10 хв.

Зносостійкість гільз циліндрів може бути підвищена лазерною обробкою. На поверхні, що опромінюються, попередньо наноситься поглинаюче покриття. Зміцнення ведеться гвинтовими доріжками шириною 2,5...3 мм. Можлива зміна площі обробки від 40 до 70%. Відсутність короблення гільз та висока чистота поверхні вимагає мінімальної механічної обробки.

Найбільш доцільним є локальне термозміцнення гільзи в зоні найбільшого зношування. Внутрішню поверхню гільзи зміцнюють окремими рівновіддаленими доріжками, розташованими під кутом 45° до твірної гільзи. При такій схемі обробки компресійні кільця у будь-який момент руху поршня перетинають найбільшу кількість лазерних доріжок. Глибина зони зміцнення 0,5 мм, середня мікротвердість 9000 МПа.

Випробування гільз автотракторних двигунів на зношування показують, що їхня зносостійкість зростає в 2-4 рази в порівнянні з незміцненими гільзами, при цьому зносостійкість поршневих кілець не знижується.

Широко поширені рекомендації щодо методів ППД внутрішньої поверхні гільз. У ЦНТУ (м. Кропивницький) розроблено декілька технологій відновлення гільз циліндрів. І.М. Соколенком розроблена технологія фінішної обробки гільз, що поєднує операції розкочування гільзи та нанесення на її поверхню антифрикційного мідного покриття, що осаджується з рідкого середовища, що подається в зону контакту інструмент – деталь. Зносостійкість з'єднання зростає в 1,6 рази, час припрацювання двигуна скорочується.

Для зниження трудомісткості і підвищення якості обробки І.В. Шепеленком запропоновано технологічний процес обробки гільз циліндрів ДВЗ при їх відновленні в I ремонтний розмір нанесенням антифрикційних покриттів фінішною антифрикційною безабразивною обробкою (ФАБО) з використанням операції деформуючого протягування. Стендові випробування засвідчили ефективність прийнятих технічних рішень. При цьому середній знос робочої поверхні гільзи після обробки за запропонованою технологією в 1,7 разів менше зносу, отриманого на гільзах, оброблених за існуючим технологічним процесом. Схема розробленого технологічного процесу відновлення гільз циліндрів ДВЗ представлена на рис. 5.11.



Рис. 5.11 – Структурна схема технологічного процесу відновлення гільз циліндрів ДВЗ в I ремонтний розмір

**5.1.6 Відновлення шатунів.** Одна з найважливіших геометричних характеристик шатуна, що впливають на ефективність роботи двигуна, – міжцентрова відстань отворів верхньої та нижньої головок.

За рахунок раціонального використання запасів металу в тілі шатуна та правильного призначення припусків тільки механічною обробкою можна відновлювати до 92% шатунів тракторних двигунів.

Для нарощування отворів нижньої головки шатуна найбільшого поширення набув процес залізнення, що складається з чотирьох етапів: попередньої механічної обробки з метою видалення конусності та овальності; електрохімічної обробки; осадження покриття необхідної товщини; хонінгування нижньої головки під нормальний розмір.

Осадження покриттів у ванні залізненням виконують у такій послідовності: витримка в електроліті без струму 50...60 с; потім – на асиметричному струмі при його густині за катодною складовою  $8^{+2}$  А/дм<sup>2</sup> і постійною складовою  $3,5 \pm 1$  А/дм<sup>2</sup> протягом 3 хв; після цього перемикають на постійний струм, щільність якого встановлюють 12...15 А/дм<sup>2</sup>. Тривалість осадження покриття визначається необхідною товщиною шару з урахуванням припуску на механічну обробку з розрахунку 0,01 мм/год. на бік на 1 А/дм<sup>2</sup> робочої густини струму, тобто. 0,25...0,3 мм/год на діаметр. Після закінчення електролізу шатуни промивають проточною водою, знімають з підвісних пристосувань і занурюють на 0,5...1 год в нейтралізуючий розчин.

На трудомісткість процесу залізнення шатунів, зручність обслуговування установки істотно впливає конструкція підвісного пристрою.

Підвісний пристрій, показаний на рис. 5.12, дозволяє нарощувати в одній ванні (при установці двох підвісок) одночасно 30-50 шатунів без підйомно-транспортних засобів. Він складається з штанги 1 (катод) трубчастого перерізу, зовнішній діаметр якої трохи менше діаметра отвору верхньої головки шатуна, стрижня 2 (анод) з маловуглецевої сталі, закріпленого одним кінцем в важелі 4 (з непровідного матеріалу), що забезпечує з підтримувальною планкою 3

необхідну міжцентрову відстань. Важіль разом із стрижнем може прокручуватися навколо осі штанги та після закінчення роботи ванни витягуватися з електроліту. Стрижень поміщається в чохол зі склотканини, а штанга для забезпечення надійного контакту піддається мідненню. Напруга до анода підводиться через контактну пластину 5, вкриту зовні кислотостійким лаком. Підвіска на ванні 6 кріпиться за допомогою спеціального пристрою 7, який може бути різним залежно від конструкції та розмірів ванни.

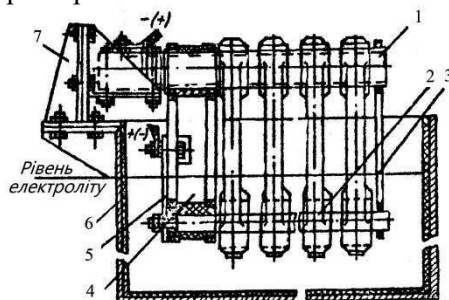


Рис. 5.12 – Стационарна підвіска для залізнення шатунів: 1 – штанга; 2 – стрижень; 3 – планка; 4 – важіль; 5 – контактна пластина; 6 – ванна; 7 – спеціальний пристрій

Аналогічна підвіска встановлюється на ванні анодного травлення, причому електрод (катод при травленні) освинцюється.

Більш високою продуктивністю характеризується технологія відновлення зношених отворів нижньої головки шатуна залізненням з одночасним хонінгуванням (гальвано-механічною обробкою).

Різде зниження тривалості процесу при залізненні з одночасним хонінгуванням пояснюється тим, що в цьому випадку відпадає необхідність у багатьох підготовчих операціях, властивих залізненню у ванні (попередній механічній обробці, монтажу та демонтажу деталей на підвісних пристроях, ізолюванню ділянок, які не підлягають покриттю, та ін.).

Операція гальванічного нарощування з одночасним хонінгуванням складається з попереднього хонінгування,

анодної обробки, залізнення та фінішного хонінгування. Попереднє хонінгування проводиться при частоті обертання шпинделя верстата 100...150 об/хв, швидкості його зворотно-поступального руху 5...8 м/хв і питомому тиску брусків 0,6...0,8 МПа. Тривалість обробки в залежності від спрацювання отворів становить 20...60 с. Як мастильно-охолоджувальну рідину використовують електроліт для нарощування складу, г/л: сірчанокиисле залізо – 350...450; сірчанокислий алюміній – 85...135, витрати якого мають бути 8...10 л/хв. Після закінчення попереднього хонінгування тиск брусків знижують до 0,2...0,3 МПа, причому хонінгувальна головка повинна продовжувати працювати. Потім вмикають струм зворотної полярності (деталь – анод, хонінгувальна головка – катод) і проводять анодну обробку тривалістю 3...5 с при  $D_k = 50...80 \text{ А/дм}^2$ .

При залізненні змінюють полярність струму (деталь – катод, хонінгувальна головка – анод) і знижують тиск брусків до 0,015...0,025 МПа. Залізнення виконують протягом 3...5 хв. при  $D_k = 80...120 \text{ А/дм}^2$ . Після нарощування діаметр отвору має бути на 0,02...0,03 мм менше від номінального.

Фінішне хонінгування виконують після вмикання струму. Тиск брусків на поверхню, що обробляється, збільшують до 0,6...0,8 МПа. Тривалість обробки 10...12 с.

Крім електролітичного нарощування зношеність нижньої головки шатуна можна усувати контактним наварюванням стрічки на установці 011-1-08 або напилюванням.

При розтяжці шатунів проводиться наступна термообробка. Шатун встановлюється на пневматичний натяжний пристрій, підігрівається біля нижньої головки газовим пальником до 800...1000°C і за допомогою пристрою розтягується. У нагрітому та розтягнутому положенні шатун залишають до остигання до температури 400 °С.

Внаслідок впливу високої температури змінюються структурні та механічні властивості металу в зонах місцевого нагріву та термічного впливу по відношенню до основного металу шатуна. З метою отримання рівномірної мікроструктури розтягнуті шатуни піддають термічній обробці – загартування та відпуску. Для збереження комплекту кришку демонтують і прикріплюють до стрижня шатуна дротом.



## 5.2 Відновлення типових деталей трансмісії машин

### 5.2.1 Відновлення корпусних деталей трансмісії.

Основні дефекти корпусних деталей – знос посадкових місць під вальниці, тріщини, пошкодження нарізних отворів та ін. Якість корпусних деталей характеризують співвісність і паралельність отворів.

Високу якість корпусних деталей дуже важко забезпечити під час їх обробки на універсальному обладнанні. У зв'язку з цим корпусні деталі доцільно відновлювати лише на спеціалізованих підприємствах.

Розроблено ряд ПМЛ для відновлення корпусів КПП тракторів та вантажних автомобілів.

На рис. 5.13 зображено схему технологічного процесу відновлення корпусу КПП трактора типу МТЗ на ПМЛ з програмою 10000 шт.

Центральна операція технологічного процесу відновлення корпусу – усунення зносу в посадкових отворах під вальниці. Відповідно до схеми на рис. 5.13 цей дефект усувається установкою сталевих згорнутих втулок.

Згорнуті втулки виготовляють із сталеві холоднокатаної стрічки гнуттям в триваликових згинальних пристроях. Необхідна довжина стрічки може бути отримана шляхом обробки пакету заготовок (50-80 шт.) на фрезерному верстаті. Ширину стрічки приймають рівною ширині отвору, що відновлюється, з урахуванням збільшення ширини втулки за рахунок осевого переміщення металу в процесі розкочування. Відносна осьева деформація при товщині стрічки 0,7..1,7 мм та діаметрів отворів у межах 18..250 мм становить 10...15 %.

Згорнута втулка в отвори встановлюється в двох варіантах: за допомогою клею і без нього. Як клей використовують епоксидну композицію (частин маси): смола ЕД-16-100, дибутилфталат-10, поліетиленполіамін-12.

Поверхні згорнутої втулки та розточеного отвору знежирюють технічним ацетоном. На розточену поверхню отвору наносять тонкий шар епоксидного складу та витримують протягом 10 хв. Не пізніше ніж через 16 хв після нанесення клею вставляють втулку в отвір за допомогою оправки та преса (рис. 5.14).

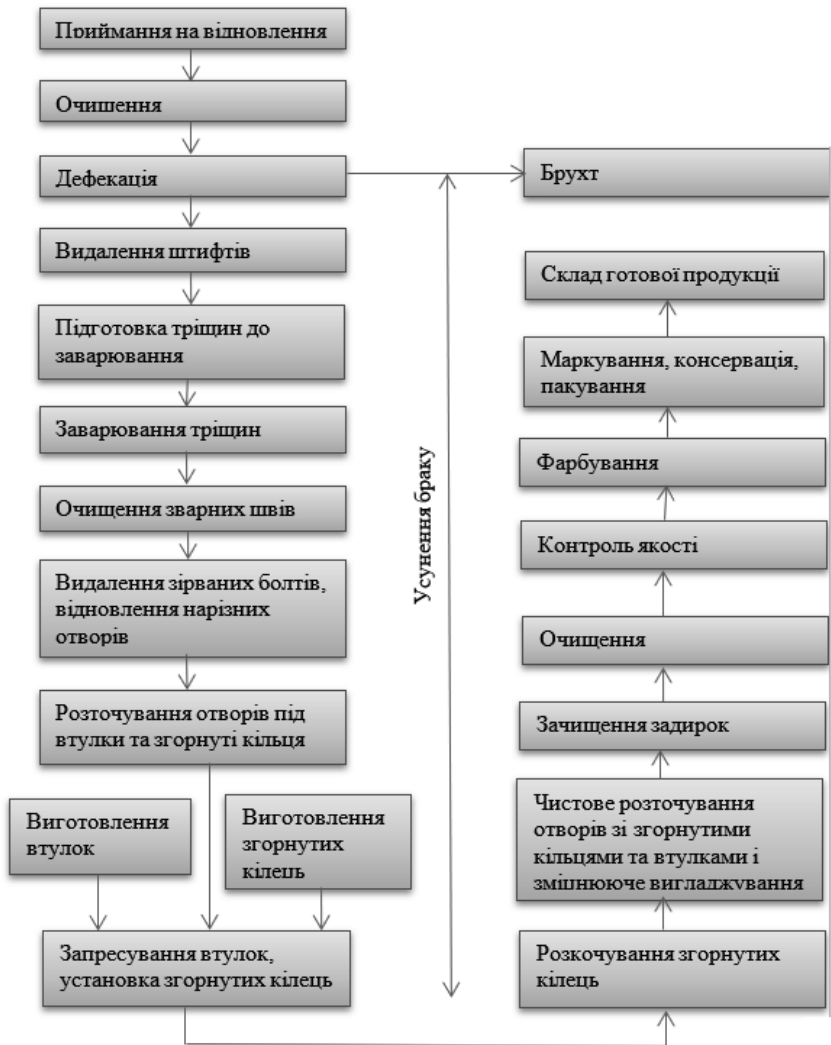


Рис. 5.13 – Схема технологічного процесу відновлення корпусів

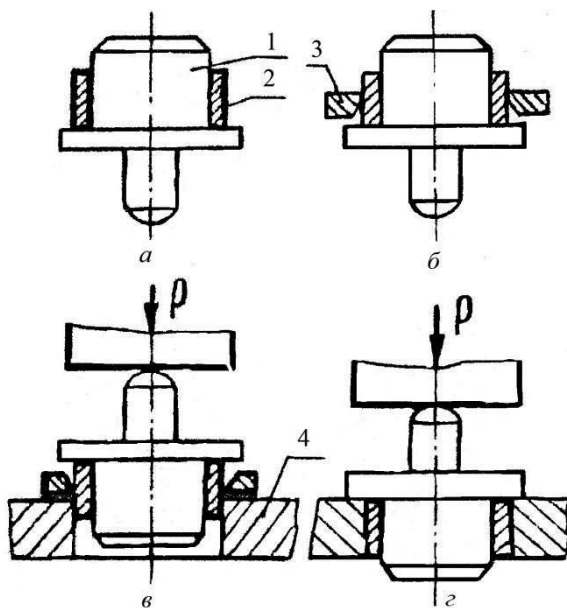


Рис. 5.14 – Установка згорнутих втулок у отвір корпусу: а – на оправку; б – притиснення втулки; в і г – запресування втулки; 1 – оправка; 2 – втулка; 3 – кільце; 4 – корпус

Отвори після установки втулок розточують при частоті обертання розкатників 60...300 об/хв., подачі 0,1...0,3 мм/об у середовищі емульсії або індустріальної оливи. При розточуванні втулок в отворах корпусів без подальшого розточування розкатник налаштовують на розмір, більший за середній розмір посадкового отвору на 0,03...0,05 мм. Після пробного проходу розмір отвору контролюють індикаторним нутроміром з ціною поділки 0,01 мм і за необхідності коригують.

Розточування підвищує твердість поверхні сталеві втулки на 10...15%, зменшує шорсткість поверхні на два-три класи, що збільшує зносостійкість посадкового отвору і площу дійсного контакту із зовнішньою обоймою вальниці.

Згорнуті втулки встановлюють на клей зазвичай при відновленні отворів діаметром більше 180 мм. При відновленні отворів меншого діаметра клей не застосовують; після розточування отвору на його внутрішній поверхні нарізають

гвинтову канавку з кутом профілю 30...35° та кроком 1 мм для діаметрів 30...80мм і кроком 0,5 мм для діаметрів 80...180 мм. У процесі розкочування метал втулки під тиском роликів вдавлюється в канавку і на зовнішній поверхні втулки утворюються виступи аналогічні нарізним.

Склади на основі епоксидної смоли для відновлення посадкових місць під вальниці використовуються також при постановці кілець на шар епоксидної смоли в попередньо розточений отвір без подальшої обробки та розмірного калібрування епоксидних композицій без застосування втулок та механічної обробки.

Для запобігання налипання складу на калібрувальний інструмент останній покривають тонким шаром технічного солідолу.

Посадочні отвори можна також відновлювати контактним наварюванням стрічки (на установках 011-1-10 і 11-1-11) з подальшим внутрішнім шліфуванням; газотермічним напилюванням порошками ПТ-НА-01 (підшар) та ПГ-19М-01 (основний шар); місцевим і проточним залізненням.

Поряд з традиційними зварювальними способами (найчастіше самозахисним дротом ПАНЧ-11) тріщини усувають комбінованими клеєварними способами з використанням синтетичних композиційних складів.

Один із таких способів полягає в наступному. На підготовлену за допомогою абразивного круга та знежирену поверхню деталі шпателем або пензлем наносять клейову композицію завтовшки 0,3...0,6 мм. На клейову основу встановлюють сталеву накладку (сталь 10 або сталь 20) і приварюють її контактним способом за допомогою зварювальних кліщів.

Використання контактної зварювання замість дугового дозволяє уникнути формування великих зон вибіленого металу і тим самим наведення поля внутрішніх напружень в деталі, оскільки з'єднання формується не суцільним зварним швом, а зварювальними точками на відстані 16...25 мм одна від одної.

### **5.2.2 Відновлення шестерень та шліцьових валів.**

Основні дефекти шестерень: знос зуба по довжині (торцевий знос) та товщині, зколи та злами зубів.

Намітилися три технологічні напрямки відновлення шестерень: із застосуванням різних способів наплавлення, пластичною деформацією та комбінацією цих способів. Перший напрямок доцільно використовувати на порівняно невеликих дільницях відновлення шестерень, другий та третій – лише на рівні потоково-механізованих ліній при великих програмах.

Зношені зубці шестерень можна наплавляти різними способами (рис. 5.15).

Розроблений спосіб автоматичного наплавлення зношених торців зубів високовуглецевим дротом Нп-65 діаметром 1,8...2,0 мм під шаром флюсу АН-60 при прямій полярності з примусовим формуванням шару в мідній охолоджуваній водою формі. Зуби шестерень відновлюються по одному, при цьому зберігаються незношені робочі поверхні. Термічний вплив дуги на матеріал зуба мінімальний (це виключає повторну термічну обробку).



Рис. 5.15 – Наплавлення зношених зубців шестерень

Поряд з автоматичним наплавленням під шаром флюсу для відновлення зубів шестерень використовується наплавлення в середовищі різних захисних газів, насамперед  $\text{CO}_2$  і аргону. При цьому можливі два варіанти технології: з попереднім частковим зніманням зношеного зубчастого вінця електроконтактним обдиранням або без видалення вінця. Зуби зношених шестерень з модулем до 5 мм не зрізають, з модулем 5...8 мм зрізають на 1/3 висоти, понад 8 мм - наполовину

зрізають. Наплавлений вінець механічно обробляють, нарізають нові зуби і виконують термообробку.

Аргонодугове наплавлення торців зубів шестерень виконується дугою прямої дії неплавким електродом з використанням як присадного матеріалу пружинного дроту. Наплавляють при струмі прямої полярності 155 А і напрузі 13 В.

Більшість способів відновлення зубів шестерень тиском зводиться до перерозподілу металу (за його наявності) з торця зубчастого вінця у зношену зону зубів.

При відновленні шестерень з торцевим зносом об'ємним штампуванням зубчасті колеса, попередньо нагріті у соляній ванні до температури 1200°C, обробляють у штампі, робочі елементи якого копіюють зубчастий профіль шестерні. При недостатньому запасі металу наплавляють його на неробочі поверхні шестерні з метою створення запасу металу і подальшого переміщення до зношених поверхонь. Оброблені в штампі шестерні піддають відпалу протягом 2 год. і проводять повний цикл механічної та термічної обробки, що практично повторює технологію виготовлення шестерень.

До комбінованих методів відновлення зубів шестерень можна віднести технологічні процеси, що включають операції як наплавлення зубів, так і пластичної деформації.

На рис. 5.16 зображена схема способу відновлення шестерень, сутність якого полягає в наплавленні торців зубів під шаром флюсу з подальшим вдавлуванням в гарячому стані наплавленого металу в зубчастий вінець за допомогою опресування на гідравлічному пресі при зусиллі 1600 кН. Припуск по товщині зуба дозволяє механічно та термічно обробляти шестерні (одно- та багатовінцеві).

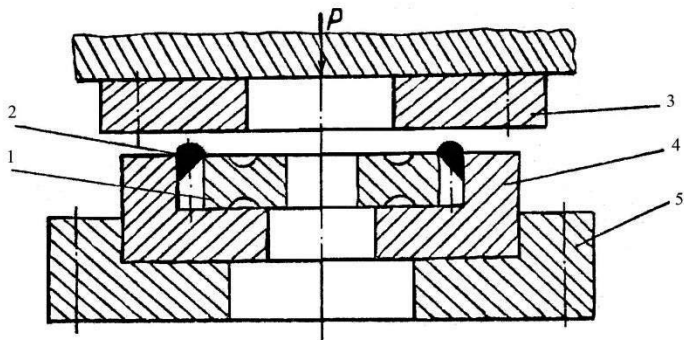


Рис. 5.16 – Схема опресування наплавленого зубчастого вінця:  
 1 – шестерня; 2 – наплавлений метал; 3 – притискний диск  
 (пуансон); 4 – матриця; 5 – основа штампа

Крім наведених технологічних способів відновлення шестерень застосовується також спосіб заміни зношеного вінця, особливо для багатовінцевих шестерень, в яких найчастіше зношується тільки один вінець. У таких випадках зношений вінець зрізають і замість нього приварюють новий, спеціально виготовлений. Щоб уникнути деформації деталі приварювання ремонтної частини доцільно проводити спеціальними способами зварювання: лазерним, електронно-променевим та ін.

При відновленні шліцьових валів усувають знос посадкових місць під вальниці, знос шпонкових пазів та нарізних ділянок, вигин валу та ін.

Найбільш прогресивний спосіб відновлення посадкових місць під вальниці – контактне наварювання стрічки (див. розділ 3). Для цього використовуються спеціалізовані установки 011-1-02, 011-1-03, 011-1-04, ОКС-12296.

Крім цього способу для усунення зносу посадкових місць можуть застосовуватися вібродугове наплавлення, газополум'яне напилювання, електромеханічна обробка, нанесення електролітичних покриттів та ін.

Знос шліцьової частини валу в основному усувається різними способами наплавлення найчастіше дротом Нп-30ХГСА під шаром флюсу або в середовищі  $\text{CO}_2$ .



Рис. 5.17 – Схема технологічного процесу відновлення шліцьових валів



Для відновлення шліцьових валів з прямобічними шліцями і центруванням по зовнішньому діаметру, крім наплавлення, застосовується метод відновлення шліців пластичним деформуванням, що полягає в роздачі шліців зі зносом до 5% допустимого значення і одночасним калібруванням роликівим пристроєм, а також в осадці наплавлених дуговим зварюванням по зовнішньому діаметру шліців зі зносом до 15% допустимого значення та одночасним калібруванням у холодному стані після нормалізації. Схему технологічного процесу відновлення шліцьових валів показано на рис. 5.17.

### 5.3 Відновлення шестерень гідронасосів

Існують технологічні процеси відновлення шестерень із застосуванням одного з видів пластичного деформування – роздачі шестерень (рис. 5.18).

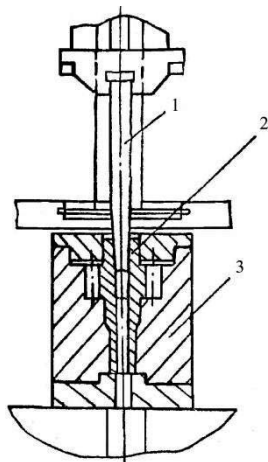


Рис. 5.18 – Схема роздачі шестерні гідронасоса типу НШ:  
1 – конічний пуансон; 2 – шестерня; 3 – зубчаста матриця

Процес містить відпал, свердління у вал-шестерні осевого ступінчастого технологічного отвору, роздачу в матриці нагрітої вал-шестерні конічним пуансоном з припуском під чистову механічну обробку, центрування, зубодовбання, нарізку шліців на вал-шестерні, зубошевінгування, термічну обробку (цементацію, загартування, відпуск); чистове шліфування робочих поверхонь вал-шестерні, виключаючи поверхню профілю зуба; закриття технологічного отвору в вал-шестерні.

Комплексне відновлення шестерень, тобто за всіма функціональними параметрами, можна проводити з використанням способів контактної зварювання і наварювання.

Висота зуба шестерні (тобто діаметр кола виступів) відновлюється електроімпульсним припіканням тврдосплавного металевого порошку на вершини зубів. Припікання проводиться на спеціальній установці, яка змонтована на базі машини для точкового зварювання (рис. 5.19).

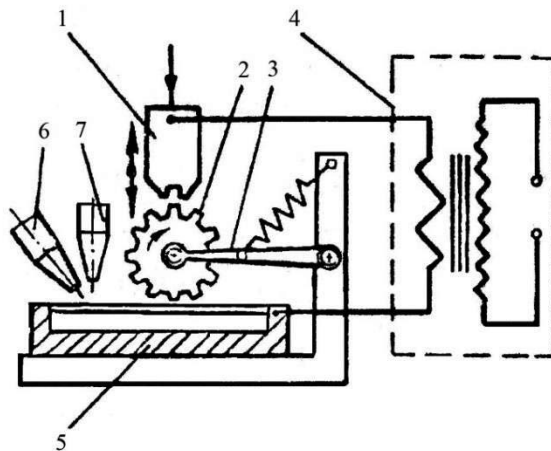


Рис. 5.19 – Схема припікання порошку на вершини зубів шестерні гідронасоса: 1 – верхній рухомий електрод; 2 – деталь; 3 – пристрій для підтримки деталі; 4 – джерело струму; 5 – нижній електрод з порошком; 6 – ємність для рідини; 7 – бункер для порошку

Після припикання шліфуються головки зубів. Припиканням можна багаторазово відновлювати шестірни.

Зношування шестерень по ширині зуба компенсується методом контактного приварювання до її торця зубчастої пластини, попередньо одержаної штампуванням (рис. 5.20).

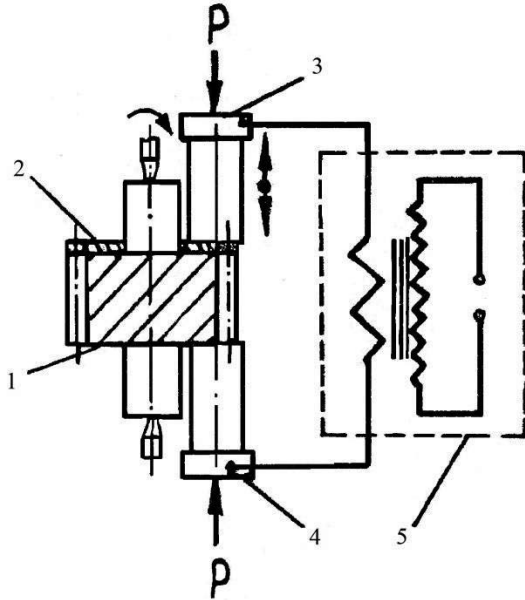


Рис. 5.20 – Схема приварювання зубчастої пластини до торця шестерні гідронасоса: 1 – шестерня; 2 – пластина; 3 – верхній підвісний електрод; 4 – нижній нерухомий електрод; 5 – джерело струму

Цапфи до необхідного діаметра відновлюються контактним наварюванням стрічки.

Прогресивний спосіб відновлення цапф шестерень гідронасосів – нанесення на їх поверхню електролітичних полімерометалевих покриттів на основі заліза. Частинки полімеру, перебуваючи в покритті, виконують роль твердого мастила і знижують зношування залізних покриттів в 2,5-5 разів. Знос спряжених деталей (втулок гідронаосу), також зменшується в 3,5-4 рази.

## 5.4 Відновлення та зміцнення деталей робочих органів сільськогосподарських машин

### 5.4.1 Відновлення лемішів плугів та лап культиваторів

*Відновлення лемішів гарячим пластичним деформуванням з поєднаною термообробкою.* Одним з таких методів є ковальська відтяжка, яка усуває знос заглиблюючої частини леміша за рахунок запасу металу з тильного боку з подальшим термозміцненням. Спосіб полягає в деформуванні попередньо нагрітого носка леміша з метою надання йому нормованих розмірів. Температура ( $t^{\circ}$ ) початку деформації (для сталі Л53 ... Л65) становить  $1300^{\circ}\text{C}$ , кінця обробки (кування) –  $800^{\circ}\text{C}$ . Температури початку і кінця деформування вибираються з таких міркувань. Верхня межа  $t^{\circ}$  лімітується процесами перегріву і перепалу. Нижній – обмежується умовами, коли швидкість рекристалізації перевищує швидкість наклепу.

Відтяжка проводиться вручну або на молотах різного принципу дії. Після усунення зносу лезову частину леміша по ширині 30...45 мм піддають гарту при температурі  $780\text{...}820^{\circ}\text{C}$  з охолодженням в підігрій до температур  $30\text{--}40^{\circ}\text{C}$  солоній воді, потім проводять середньотемпературний відпуск при температурі  $300\text{--}350^{\circ}\text{C}$  і наступним охолодженням на повітрі.

При реалізації методу можливе використання ізотермічного загартування. Для цього після нагрівання всього леміша до температур  $880\text{--}920^{\circ}\text{C}$  його лезову частину (ширина близько 30 мм) занурюють в підігрій 10% соляний розчин води. Після витримки протягом 3-4 с. охолоджену до  $350^{\circ}\text{C}$  деталь витягують з охолоджуючого середовища і остаточно охолоджують на повітрі.

Застосування подібної технології безумовно дозволить, в певній мірі, підвищити властивості деталі по зносостійкості. Однак відсутність інформації про твердість термообробленої області не дозволяє в повній мірі оцінити значимість технології. Іншим недоліком розглянутих технологічних прийомів є неможливість їх неодноразового використання. Слід нагадати, що нагрів для деформування і під термообробку негативно

позначиться на механічних властивостях матеріалу деталі. Крім того, використання методу обмежене низкою специфічних дефектів (лучевидного зносу носка) без проведення додаткових операцій.

Іншою технологією відновлення лемішів, заснованою на пластичній деформації і термозміцненні, є спосіб, сутність якого полягає в тому, що з тильної сторони леміша в області носка і по довжині леза формують запас металу шляхом наплавлення маловуглецевим електродом. Обсяг наплавленого металу повинен забезпечувати відновлення нормованих розмірів леміша. Форма леміша відновлюється відтягненням після попереднього нагрівання з використанням кондуктора, що копіює форму носка і леза леміша. Температура початку кування близько 1300 °С - кінця 850-870 °С. Охолодження слід проводити від температури 830-850 °С у воді відразу після завершення відтягнення.

Висока складність технологічного процесу негативно позначається при його практичному виконанні. При використанні цих технологій виникають серйозні труднощі з визначенням температур початку і кінця кування, а також параметрів термозміцнення. Але головними факторами, що не дозволяють широко використовувати описані методи, є відсутність в більшості підприємств спеціалізованого обладнання, оснащення та інструменту, а також низька твердість відновленої ділянки (<20HRC). Слід зазначити деяку складність обох технологій.

Для централізованого відновлення лемішів рекомендується технологія заміни зношеної частини леміша приварюванням заготовок із прокату з подальшою термообробкою або наплавлення леміша твердим сплавом та його заточування.

Придатні для відновлення леміші завантажують у піч для відпалу при температурі 860°C. Потім їх правлять і одночасно обрубують на пресі, а після охолодження зенкують отвори під болти кріплення на свердильному верстаті.

На поворотному двопозиційному зварювальному столі леміш складають з трьох частин (кістяка, леза і носка), затискають його і зварюють за допомогою зварювального

автомата АДУ-502. Потім леміш передається на багатопозиційну наплавну установку, одна з позицій якої знаходиться навпроти індуктора установки СВЧ. Операції наплавлення та наступної заточки керуються роботом. Готові лемеші робот укладає в контейнер. Час обробки леміша 1 хв.

Крім індукційного та газопорошкового наплавлення для зміцнення лемішів рекомендується спосіб дугового точкового зміцнення.

Процес ґрунтується на макровкрапленні твердого сплаву під впливом електричної дуги на частини робочих органів деталей, що швидко зношуються. Порошковий дріт плавиться, утворюючи конуси проплавлення, які в результаті дифузії в основний метал міцно утримуються в деталях.

Шляхом регулювання глибини, висоти та частоти наплавлення точок зміцнення, а також співвідношення твердостей наплавлених ділянок і основного металу досягається оптимальна зносостійкість і самозаточування виробу під час його експлуатації.

У процесі використання лемішів з точковим зміцненням їхнє лезо стає хвилясто-ступінчастим та здатним самозаточуватися. При цьому значно знижується тяговий опір плуга, що підвищує продуктивність орного агрегату та дозволяє економити пальне.

*Відомі технологічні процеси відновлення плужних лемішів шляхом заміни гранично зношеної їх частини на нову.* Ряд технологічних варіантів передбачає проведення термічного зміцнення (гартування) вставок із забезпеченням високої твердості 48 HRC.

Один із способів полягає у видаленні зношеної лезової частини, виготовленні та закріпленні нової з середньовуглецевої сталі у вигляді змінної пластини (вставки). В якості заміни використовують сталеву смугу, що копіює нормовані розміри долотоподібних лемішів. Тильну сторону пластини зміцнюють шляхом нанесення зносостійкого покриття електроіскровим методом в суміші захисних газів, що містить аргон і 17 - 25% вуглекислого газу. Робочу поверхню піддають гартуванню СВЧ і низькотемпературного відпуску. Пластина, що замінюється, кріпиться до основної частини леміша приварюванням.

Така технологія безумовно дозволить збільшити ресурс відновленої деталі, проте її технологічна складність і необхідність в кадрах високої кваліфікації, а так само необхідність в комплексі обладнання спеціалізованого призначення (наприклад наявність установки СВЧ) створюють серйозні труднощі при застосуванні в ремонтному виробництві. Іншим стримуючим фактором слід вважати відсутність масового випуску виробів. Крім того, граничний стан суцільнометалевих лемішів, перш за все, визначає знос їх носової частини.

Подібний метод використовується при відновленні лемішів зі змінним долотом імпортного виробництва, коли знос лезової частини перевищує допустимий. Відновлення проводиться шляхом приварювання нової (компенсуючої) термозміцнюючої ріжучо-лезової частини замість гранично зношеної області (спинки леміша), придатної для проведення операцій зварювання та подальшої експлуатації. Компенсуюча пластина виготовляється з ресорно-пружинних сталей 65Г або 60С2. Після зварювання тильна сторона лезової частини отриманої деталі піддається наплавленню абразивостійким електродним матеріалом, що забезпечує твердість отриманого покриття в межах 58 – 62 HRC. Технологія розроблялася, як вже було зазначено раніше, для складових лемішів, у яких граничний стан визначається допустимим зносом лезової області.

У зв'язку з цим було запропоновано технології, які полягають у видаленні гранично зношеної долотоподібної частини і приварок нової носової частини (долота), що копіює геометрію стандартного долотоподібного леміша. Кути заточування польового обрізу і ріжучої нижньої частини відповідають заводській деталі. Для виготовлення нової долотоподібної частини можуть використовуватися листи ресорно-пружинної сталі (пружні елементи підвісок – ресори), термооброблені до твердості 43-48HRC і зняті з експлуатації через втрату жорсткості.

Крім того, як показують дослідження, більшість плужних лемішів зарубіжного виробництва мають підвищене напрацювання, в порівнянні з вітчизняними, і твердість 50-53

HRC. Можна припустити, що значення 43 – 48 HRC вторинних матеріалів не дасть максимального позитивного ефекту по зносостійкості, тому потрібне проведення додаткових досліджень з даного питання, пов'язаного з повторним термозміцненням.

*Технологічний процес зміцнення лемішів плугів пайкою зносостійких пластин ацетилено-кисневим полум'ям.* Проведені дослідження дозволили розробити й запропонувати ремонтному виробництву технологічний процес відновлення лемішів плугів припаюванням пластин з термообробленої сталі 130Г7ТЛ на метал леміша з використанням ацетилено-кисневого полум'я.

Леміші, що надходять у ремонт, очищають від бруду за допомогою мийного засобу типу «Ритм» (10-20 г/л при температурі 20-30°C).

Очищені леміші піддають дефектації, визначаючи зношування контрольованих поверхонь, після цього зношена поверхня підлягає відтягненню й механічній обробці. Роблять відтягнення носка леза леміша. Знімаємо розміри шаблоном для контролю відтягнутого леміша й при необхідності за допомогою відтягнення надаємо правильної геометричної форми.

Після механічної обробки поверхню леміша фрезерують на горизонтально-фрезерному верстаті 6Р81 з лицьової сторони шириною 16 мм і глибиною паза 3...3,5мм по всій довжині носка лемішу, режими обробки: частота обертання 350 хв<sup>-1</sup>, подача 0,3 мм/об. Попередньо виготовлені пластини з термообробленої сталі 130Г7ТЛ мали наступні розміри 150×16×5 мм, 190×16×5 мм із загостреним кінцем по конфігурації носка леміша (рис. 5.21).

При відновленні леміша ацетилено-кисневим полум'ям поверхню під пайку рекомендується застосовувати наступне устаткування, оснащення й матеріали: протравлення поверхні сірчаною кислотою; стіл зварювальний ОСК-7523; кисневий балон, ацетиленовий генератор; флюс Ф-100; припій Л63; щітка металева НН 474-80; плоскошліфувальний верстат ЗБ722; коло шліфувальне ПП500×60×127 23А П63 СТ К36; штангенциркуль ШЦ-125-0,1; шаблон для контролю геометричних розмірів лемішу; лінійка 0-500.



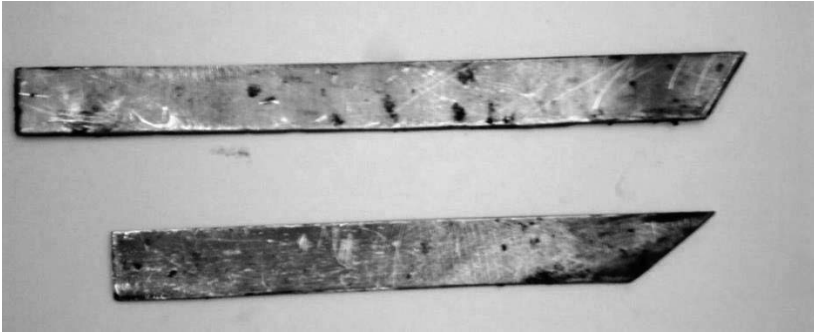


Рис. 5.21 – Пластини з термообробленої сталі 130Г7ТЛ підготовлені для пайки

Режими виконання основних технологічних операцій не розраховують, а визначають виходячи з технологічних умов.

Леміші плугів, прийняті на відновлення, повинні відповідати наступним вимогам: їх слід очистити від забруднень до стану, що забезпечує можливість огляду й виявлення дефектів; товщина основи зношеного лемішу в зоні розташування отворів під болти – не менше 8 мм; ширина зношеного леміша, виміряна з тильної (неробочої) сторони як відстань від спинки до потиличної фаски – не менш 100 мм.

Зношені по ширині й затуплені леміші плугів відтягають у нагрітому стані швидкими ударами ручника або на пневматичному молоті спеціальними бойками. Носки долотоподібних лемішів, призначені для роботи на твердих ґрунтах, рекомендується дещо відгинати убік днища борозни, що поліпшує стійкість ходу плуга. Під час відтягування леміша ковальським способом, лезо по всій його довжині нагрівають у горні на ширину 60...70 мм до 900...1100°C. Спочатку його повільно нагрівають до 500...600°C, потім, щоб уникнути появи тріщин, швидкість нагрівання збільшують. Леміш кладуть на ковадло робочою поверхнею й частими ударами відтягають при температурі більш 800°C (при меншій можуть з'явитися тріщини) спочатку носок, а потім лезо до нормальних розмірів. Відтягнуту частину вирівнюють гладилкою. У процесі й наприкінці відтягнення леміш перевіряють по шаблону.

Після цього роблять складання пластин з лемішем плуга, при цьому їх складають таким чином, щоб залишався зазор для закладки припою й флюсу. Далі в отриманий зазор закладають латунний припій марки Л63 і флюс Ф-100 ( $KBF_4$ ) – 46,5%, буру ( $Na_2B_{407}$ ) – 36,5%, оксид вольфраму ( $WO_3$ ) – 13,5% і оксид кобальту ( $Co_2O_3$ ) – 3,5%.

Зібраний леміш плуга нагрівають пальником з використанням ацетилено-кисневого полум'я. Потім пальник тримають над пластиною, намагаючись забезпечити її рівномірний прогрів, про закінчення нагрівання судять по розплавленню припою. У такий спосіб припаюють кожну пластинку. Після цього леміш поміщають у піч, нагріту до температури 530...550°C, разом з якою він охолоджується до кімнатної температури.

Флюс при газополуменевій пайці потрібно вводити до нагрівання. При відновленні лемішів плугів припаюванням пластин з термообробленої сталі 130Г7ТЛ використовується флюс Ф-100. При пайці виріб потрібно нагрівати на відстані 20...25 м від кінця ядра, причому, у момент введення припою, слід відвести полум'я від шва на 35...50 мм, щоб не викликати перегрівання припою.

На рис. 5.22 представлена фотографія леміша плуга, відновленого і зміцненого припаюванням пластин на метал леміша з використанням ацетилено-кисневого полум'я.

Досліджувалися леміші, відновлені методом компенсування зносу, коли зношена долотоподібна частина видаляється і приварюється нове долото з іншими властивостями. Відомі технології були доповнені рядом моментів і удосконалень. Використання долота як окремого конструктивного елемента дозволяє проводити зміцнюючі операції в різних їх варіантах, уникаючи будь-яких впливів на остов деталі.



а)



б)



в)

Рис. 5.22 – Леміш, відновлений і зміцнений припаюванням пластин:  
а – лицьова сторона леміша;  
б – тильна сторона леміша;  
в – носок леміша

При проведенні випробувань застосовувалися два технологічних методи впливу на долото з метою підвищення його твердості і, відповідно, стійкості до абразивного зношування. Перший – різні види термічної обробки доліт, виготовлених із листів ресор, знятих з експлуатації. Другий – додаткове зміцнення термозміцненням доліт з наплавленням заглиблюючої частини зносостійкими сплавами.

Другий метод передбачав наплавлення заглиблюючої частини з боку робочої поверхні і з тильної сторони (схеми наплавлення) на величину близько 50 мм (рис. 5.23 а, б) зносостійкими сплавами. Наплавленню піддавалися леміші з долотами, термозміцненні при температурі 840 °С і твердості 52-54 HRC, що обґрунтовувалося проведенням лабораторних досліджень.

Наплавлення проводилося ручним способом електродами, що забезпечують різну твердість наплавленого металу. (відзначається розбіжність в твердості, обумовленої технічними нормативами і дійсною твердості). Параметри режиму наплавлення приймалися з довідкової літератури.

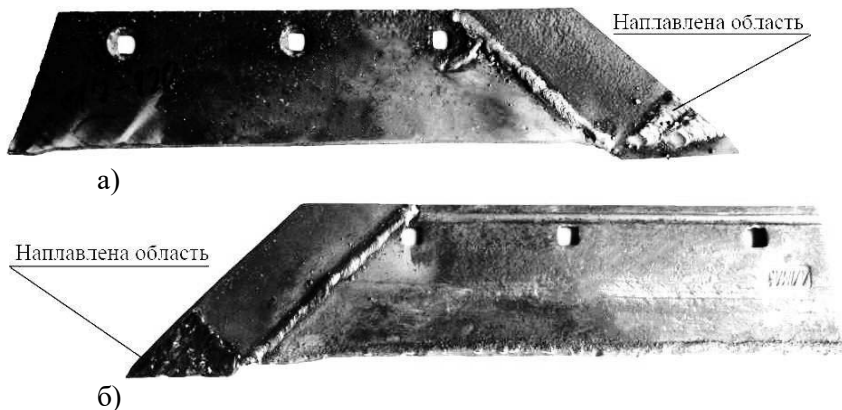


Рис. 5.23 – Відновлений леміш з наплавленням заглиблюючої частини: а – на зовнішній стороні; б – на тильній стороні

*Технологія відновлення лемішів з постановкою компенсуючих вставок.* Працездатний стан вітчизняних суцільнометалевих плужних лемішів при оранці на супіщаних і суглинних ґрунтах регламентується появою променевидного зносу долотоподібної області і затупленням заглиблюючої частини. Із загальної кількості знятих з експлуатації деталей 83% мають перший дефект і більше 30% – другий. Набуття цих дефектів відбувається при незначному напрацюванні до відмови (3-7 га), що пов'язано, перш за все, з високою зношувальною здатністю ґрунту і невисокими властивостями по зносостійкості матеріалів таких деталей.

Величезна кількість лемішів має подібні дефекти (сотні тисяч штук), але вони зберегли допустиму ширину леміша і, отже, придатні для відновлення. Постає питання про збільшення їх довговічності.

Вирішення завдання лежить в розробці технологій усунення зазначених зносів і забезпечення неодноразового використання лемішів. Практика дозволяє стверджувати, що відновлювати леміш можна не менше двох разів.

Вирішення завдання створення довговічних різальних органів ґрунтообробних машин ускладнюється тим, що процеси зношування обумовлені не лише властивостями матеріалів, з

яких вони виготовляються, а й характером робочого процесу та взаємодії із зовнішнім середовищем, а також особливостями конструкції. Що стосується конструкції плужного леміша, то до теперішнього часу для обробки всіх ґрунтів України застосовуються леміші із суцільним лезом, яке на сухих твердих ґрунтах швидко затуплюється. Затуплення викликає, за даними П.Ф. Чиркова, збільшення тягового опору плуга в 1,5 рази, витрати пального в 1,25 рази, зниження глибини оранки до 60%, нерівномірність оранки до 30%. Той самий автор вказував на нетехнологічність і конструктивну недопрацьованість лемішів, наплавлених сормайтом, базою для яких є зовсім не найкращий тип леміша, а основні показники, як надійність, працездатність і довговічність поки що бажають кращого.

Одним із найпростіших способів підвищення зносостійкості лемішів є зміна форми їх леза.

Вплив форми леза леміша на його – зносостійкість та працездатність, як вказував І.П. Рабінович, ще слабо вивчений.

Ґрунт, як відомо, є дуже складним тілом, що складається з твердих мінеральних частинок, що займають ґрунтовий масив не суцільно, а у вигляді пухкого скупчення окремих зерен, проміжки між якими заповнює вода в різних станах або повітря, або те й інше разом.

У процесі різання мінеральні частинки своїми гострими гранями відокремлюють від поверхні робочого органу мікрооб'єми металу у вигляді мікростружок, а також роблять змінання поверхневих шарів округлими зернами, які залишають сліди (подряпини) на поверхні зносу. Такий процес руйнування металу називається абразивним зношуванням.

Необхідно зауважити, що абразивне зношування у чистому вигляді на практиці зустрічається досить рідко. Найчастіше воно супроводжується, на думку багатьох дослідників, додатковим впливом агресивного середовища, вологості та інших факторів, які істотно впливають як на величину, так і на характер зносу ріжучих органів ґрунтообробних машин.

При вивченні характеру зношування леза долотоподібного леміша з'ясувалося, що долото леміша у процесі роботи самозаточується як у лемішів, наплавлених

сормайтом, так і у ненаплавлених. Інша ж частина леза (приблизно  $\frac{2}{3}$  від борозненого обрізу) заокруглюється (ненаплавлені леміші) з утворенням потиличної фаски, яка негативно впливає на якість оранки та енергетичні показники. У наплавлених лемішів лезо на вказаній ділянці (рис. 5.24, переріз Б-Б), після вироблення 5...7 га на сухих середньо- та важкосуглинистих ґрунтах, досягає, за нашими даними, величини 4...6 мм, що призводить до порушення нормальної роботи орного агрегату.

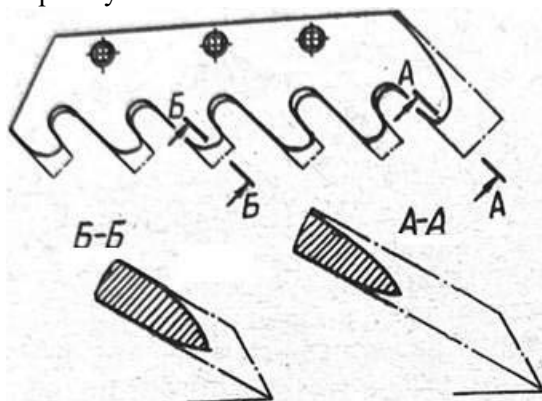


Рис. 5.24 – Характер зносу долотоподібного леміша

Це пояснюється різним напрямом руху ґрунтових частинок щодо леза. Так, різальна кромка долота здійснює лобове різання ґрунту, при цьому його абразивні зерна рухаються перпендикулярно до леза, тим самим його самозаточує. На решті леміша, де спостерігається косе різання ґрунту, його частинки ковзають уздовж леза. В результаті відбувається зминання кромки та її округлення або затуплення.

Використовуючи явище самозаточування леза долота долотоподібного леміша, досліджено плужний леміш з переривчастим лезом, різальні кромки якого розташовані перпендикулярно до напрямку руху орного агрегату (рис. 5.25).

Характер зносу леза серійних та експериментальних лемішів контролювався за допомогою відбитків на м'який метал (свинець) та представлений на рис. 5.24 та 5.25.

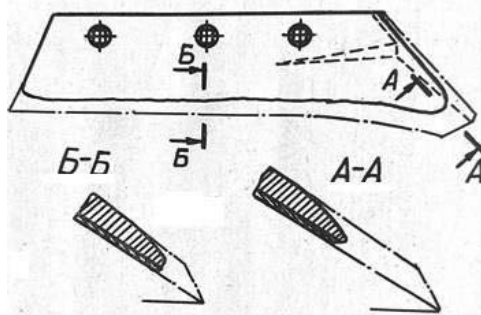


Рис. 5.25 – Характер зносу переривчастого леза з лобовим різанням ґрунту

Були розглянуті відпрацьовані леміші плуга (рис. 5.26). Леміш ПНЧС-01.702 застосовують на плугах ПЛН 3-35, ПЛН 4-35, ПЛН 5-35, ПНЛ 8-40, він слугує для підрізання та зсуву пласта ґрунту. Леміші виробництва приватного підприємства «Лав», м. Одеса.



Рис. 5.26 – Загальний вид зношених лемішів

Запропоновано спосіб відновлення плужного леміша постановкою вставок, що компенсують його знос (рис. 5.27).

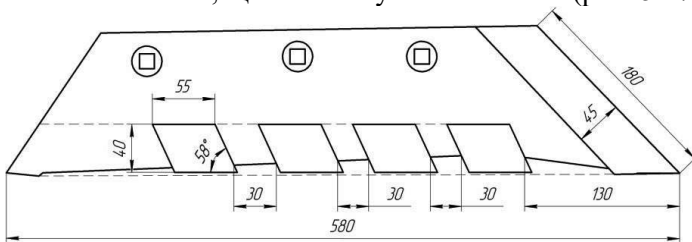


Рис. 5.27 – Спосіб відновлення плужного леміша постановкою вставок, що компенсують знос

Для реалізації способу необхідно знати розміри нового леміша, щоб установити компенсуючу вставку на висоту леза. Спочатку поверхня леміша очищалися, після чого розмічалися місця вирізів. Як варіант для встановлення компенсуючих вставок у вигляді зубів було розглянуто можливість використання відпрацьованих ресорних листів автомобіля (рис. 5.28).



Рис. 5.28 – Фрагмент відпрацьованого ресорного листа автомобіля

Після цього за допомогою плазморізу «Протон» CUT-60/380П вирізалися вікна для вставок під кутом  $58^\circ$  (рис. 5.29). Приварювання проводили електродом  $\varnothing 3,0$  мм УОНІ-13/55. На носову частину приварюється поверх компенсуюча пластина. В результаті отримуємо зубчатий леміш, у якого виліт зубів компенсує знос і, який можемо використовувати поряд з новими на одному агрегаті (рис. 5.30). Для визначення доцільності та поведінки в умовах тертя необхідно провести польові дослідження.



Рис. 5.29 – Поверхня лемішу з вирізами під вставки



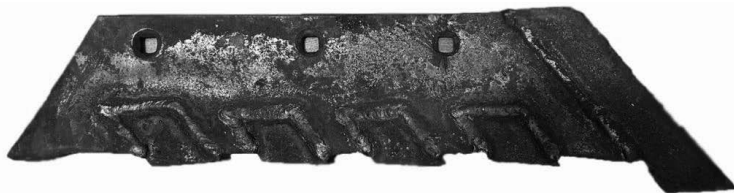


Рис. 5.30 – Леміш з компенсуючими вставками

Також, для підвищення працездатності відпрацьованих ресорних листів було запропоновано зміцнити ріжучу частину вставок з тильної сторони електродом Т-590 (рис. 5.31).



а)



б)

Рис. 5.31 – Леміш з вставками, що компенсують, (а) та додатковим зміцненням тильної сторони вставок (б) електродом Т-590

Різні варіанти зміцнення застосовуються для лап культиваторів (рис. 5.32).

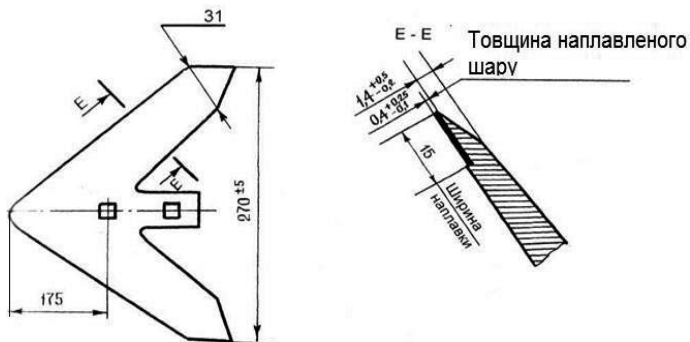


Рис. 5.32 – Ескіз стрілчатої лапи КПС 270  
(Н 043.05.402А-01) культиватора

Розповсюдженими методами відновлення лап культиваторів є:

- відтягнення зношених робочих органів, які в процесі обробки нагрівають до температури 800...1100°C й деформують на пневматичному молоті, після чого проводять заточення й необхідну термообробку;

- вирізання зношеної частини леза лапи газополуменевим різакром. Замість відрізаної частини виготовляють сталеву профільну пластину, як правило, зі сталі марки 65Г, яку приварюють суцільним швом до відновлюваної деталі. Її попередньо прихоплюють до лапи в трьох точках ручним електродуговим зварюванням. Потім пластину приварюють суцільним швом на установці для автоматичного зварювання під шаром флюсу. Лапи з привареними пластинами піддають подальшому зміцненню – газополум'яним напилюванням зносостійкими металевими порошками. Порошок ПГ-12Н-3 напилюють на пластину з нижньої сторони, що забезпечує отримання самозаточування леза.

Однак, процес видалення зношеної частини леза газополум'яним різанням спричиняє деформацію і супроводжується вигорянням легуючих елементів та вуглецю, викликаючи тим самим зміну структури сталі. Ускладнюється операція зварювання кутової пластини з лапою, потрібна подальша механічна та термічна обробка, збільшується

трудомісткість та вартість відновлення. Так само, одним із недоліків є те, що не досягається підвищення зносостійкості деталі, що відновлюється.

Лапи з привареними пластинами або після відтягнення також піддають наплавленню зносостійкими металевими порошками з нижньої сторони, що забезпечує одержання самогострювального леза.

Відомий спосіб відновлення стрілчастих лап культиватора з одночасним зміцненням, що включає виконання відтягнення до відновлення нормованих розмірів, а з тильної її сторони формують запас металу в зоні носка й по довжині леза шляхом наплавлення електродом з одержанням необхідного об'єму компенсації зношеного металу. Це забезпечує відновлення номінальних розмірів лап, при цьому відтягнення лапи здійснюють гарячим деформуванням з використанням формотворного оправлення, що копіює форму носка й леза лапи, з наступним зміцненням загартуванням (рис. 5.33 і 5.34).



Рис. 5.33 – Лапа з навареним запасом металу з тильної сторони



Рис. 5.34 – Відновлена лапа

Раніше був розроблений спосіб відновлення стрілчастих лап 1 культиваторів (рис. 5.34), що включає видалення зношеної робочої частини лапи шліфувальним відрізним колом, з подальшим виготовленням нової робочої частини 2 з

середньовуглецевої сталі у вигляді змінної кутової пластини, яку заточують із утворенням леза й зміцнюють з тильної сторони. Перед зміцненням у ній виконують наскрізні продовгуваті отвори 3 для її переміщення по мірі зношування. На відновлюваній стрілочастій лапі культиватора також виконують нарізні отвори 4 для кріплення змінної кутової пластини за допомогою гвинтів 8 (рис. 5.35). Змінну кутову пластину піддають зміцненню з тильної сторони шляхом нанесення зносостійкого покриття в три шари, при цьому перший 5 і третій шари 7 одержують електроіскровим нанесенням зносостійкого сплаву, а другий шар 6 одержують електродуговою металізацією.

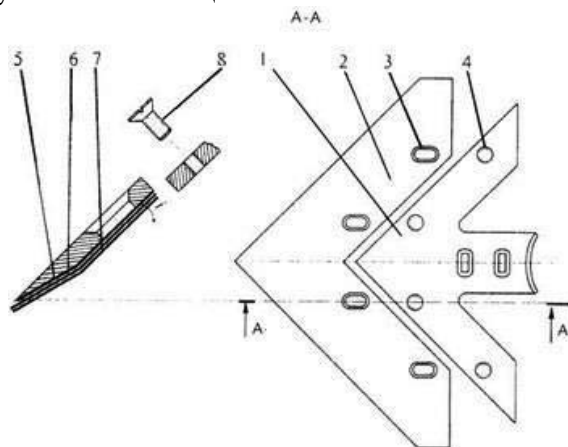


Рис. 5.35 – Стрілочаста лапа культиватора зі змінною кутовою пластинною, вигнутою за формою різальної частини з наскрізними продовгуватими отворами

Дослідження, проведені вченими, дозволили встановити, що застосування твердих сплавів для забезпечення зміцнюючих покриттів деталей ґрунтообробних знарядь різного призначення досягли певного порога. При проведенні аналізу матеріалів і зносостійких складів серед композиційних та неметалевих матеріалів було встановлено, що для значного підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних знарядь найбільш доцільно застосовувати металокерамічні матеріали.

Схема технологічного процесу відновлення та зміцнення стрічастих лоп культиватора показано на рис. 5.36.



Рис. 5.36 – Схема технологічного процесу відновлення та зміцнення стрічастих лоп культиватора

Зношену частину леза лопи культиватора слід видаляти відрізним шліфувальним кругом А24SBF за допомогою кутової шліфувальної машини МШУ-2-230.

Кутову пластину (рис. 5.37) виготовляють шляхом вигину під кутом  $60^\circ$  сталеві смуги товщиною 5 мм за допомогою преса КД2128К. Зусилля преса становить 630 кН, частота ходу повзуна –  $140 \text{ хв}^{-1}$ .

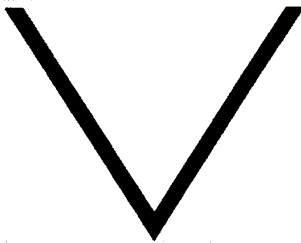


Рис. 5.37 –  
Кутова пластинка із сталі 45  
затовшки 5 мм

Ріжучу частину пластини заточують під кутом загострення  $i=14^\circ$  на універсально-заточному верстаті ЗД642Е.

Заготовку (кутову пластину) приварюють до лопи, що відновлюється, суцільним швом електродуговим зварюванням дротом.  $\varnothing 2 \text{ мм Св-08ГС}$  за допомогою зварювального напівавтомата за наступних параметрів: напруга – 20 В; сила

зварювального струму – 180А; швидкість подачі дроту – 160 м/год.

Підвищення напруги призводить до незначного збільшення глибини проплавлення основного металу, а зменшення напруги від оптимального погіршує якість зварного шва. Зварювання з силою струму менше 180А призводить до непроварювання, а при більшій - відбуваються пропали виробу, що відновлюється. Збільшення або зменшення швидкості подачі дроту від оптимального – 160 м/год знижує стабільність горіння дуги, що призводить до значного погіршення якості зварного шва. При наплавленні порошку Сормайт-1 необхідна перевірка паралельності основи лапи на верстаті, після чого виконується заточування краю лапи. Наступне зміцнення поверхні лапи слід виконувати за наступних параметрів: тиск обробки 12,5-15,2 кН; амплітуда коливань – 0,75 мм; час зміцнення – 30 с. Збільшення амплітуди коливання призводить до нерівномірного приросту ширини різального елемента лапи по довжині 0,55-1,10мм, а зменшення – знижує величину деформації по товщині. Вібраційне деформування забезпечує рівномірну та дрібнозернисту структуру металу, а також характеризується більш однорідним розподілом фаз на глибину до 150...220 мкм. При зменшенні тиску менше 12,5 кН не досягається однорідності поверхні, що зміцнюється, а більш ніж 15,2 кН – має місце локальне пошкодження фаз сплаву із зародженням субмікротріщин.

Таким чином, відновлення деталей на прикладі стрілчастої лапи культиватора з використанням наплавлення зношеного шару сормайтом-1 та подальшим вібраційним зміцненням забезпечує збільшення їх життєвого циклу на 68%.

**5.4.2 Відновлення деталей типу дисків.** Основний дефект дисків – їхній знос по діаметру, внаслідок чого найчастіше порушується агротехніка.

Наприклад, внаслідок зміни діаметра дисків сошників зернових сівалок утворюється зазор у точці сходу дисків, а також спостерігається опускання динамічної точки сходу дисків сошника щодо дна борозни. При великих зазорах в точці сходу погіршується стійкість ходу сошників у вертикальній площині і

відбувається обсіпання ґрунту і борозенки, що призводить до зниження рівномірності загортання насіння і до погіршення умов для його пророщення.

В даний час, зношену ріжучу кромку дисків ремонтують виправленням геометричної форми, способом заточування їх до товщини 0,5...0,7 мм під кутом  $33^\circ$  на токарно-гвинторізному або обточувально-заточному верстатах (рис. 5.38).

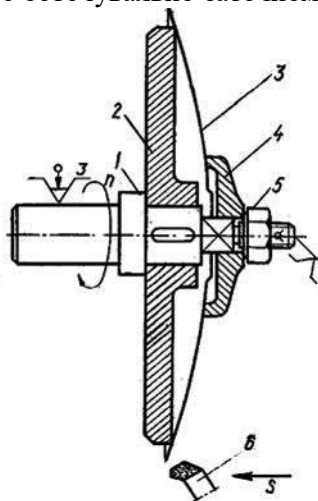


Рис. 5.38 –  
Схема заточування диска на  
токарно-гвинторізному  
верстаті: 1 – оправка;  
2 – планшайба; 3 – диск;  
4 – шайба; 5 – гайка; 6 –  
різець

У сферичних дисках заточування леза ведуть з опуклого боку. Перед заточуванням леза погнуті диски правлять вручну шлюсарним молотком на плиті: ослаблені заклепки обжимають за допомогою пневматичного молотка та обтискання, а непридатні замінюють новими. При зносі квадратні отвори в дисках луцильників (борон) відновлюють приварюванням електродувим електродом Е-42 накладки з квадратним отвором, попередньо сумістивши вісь накладки з віссю отвору в диску. Накладки виготовляють ковальським способом із вибраканих дисків. Щоб не допустити відпускання леза при приварюванні накладки, лезо активно охолоджують мокрою ганчіркою або глиною. Іноді після усунення несправностей і підготовки леза до наплавлення його наплавляють твердим сплавом товщиною 0,4...0,6 мм і шириною 20...25 мм. Ширина наплавного шару на лезах дисків повинна дорівнювати половині різниці нормального і граничного розмірів. Диски луцильників

наплавляють з випуклого боку, а диски важких борін – з увігнутою, тобто, з боку протилежного заточувальній фасці. Наплавляють (нарошують) тверді сплави типу «Сормайт» у різний спосіб, як вручну, так і за допомогою зварювально-наплавних напівавтоматів.

Незважаючи на конструктивні відмінності технологія відновлення деталей типу дисків робочих органів сільськогосподарських машин включає наступні основні етапи: підготовку зношеного диска до відновлення; виготовлення елементів, що компенсують знос дисків; приварювання компенсуючого елемента до диска; зміцнення та заточування дисків.

За такою схемою відновлюють диски копачів бурякозбиральних комбайнів, луцильників та сошників зернових сівалок. Основу технологічного процесу складає приварювання до підготовленого диска кільця (або секторів.) в середовищі вуглекислого газу або аргону

У зв'язку з тим, що сталь 65Г, з якої виготовлені диски сошників, відноситься до групи сталей, що важко зварюються, ЦНТУ розроблена технологія відновлення дисків із застосуванням контактного шовного зварювання (замість дугового).

Кільце до диска приварюється на установці, яка змонтована на базі шовної зварювальної машини (рис. 5.39). Термообробка дисків проводиться на автоматі, що забезпечує правку, загартування та відпуск дисків.

Для зміцнення дисків застосовуються різні способи термообробки, наплавлення та напилення (табл. 5.3).

Найбільш прийнятний матеріал для покриття, що має високу зносостійкість, – оксид алюмінію. Як горючий газ використовується пропан-бутан. Час напилювання дискового сошника 4...4,5 хв, витрати порошку 18...22,5 г. Товщина покриття 0,12...0,18 мм. Ширина покриття на диску 12...14 мм. Частота обертання диска сошника при напилюванні 0,1...0,2 хв<sup>-1</sup>. Перед початком напилювання сошники піддаються піскоструминній обробці.



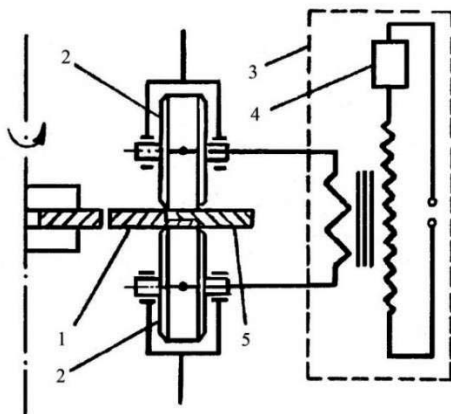


Рис. 5.39 – Схема відновлення диску сошника контактним приварюванням кільця: 1 – диск; 2 – електроди; 3 – джерело струму; 4 – регулятор циклів зварювання; 5 – кільце

Таблиця 5.3 – Методи зміцнення дисків луцильників та їхня зносостійкість

№	Метод зміцнення дисків	Матеріал	Товщина зміцненого шару, мм	Сумарний знос дисків по діаметру (наробіток 2000 га), мм
1	Об'ємне загартування	–	0,6...1,2	11,40
2	Індукційне наплавлення	ПС 14-60	0,6...1,2	3,61
3	Те ж	ПГ-С27	0,4...1,3	3,41
4	Поверхнєве загартування леза СВЧ	–	0,8...1,0	4,16
5	Плазмове наплавлення суцільне переривчасте по зовнішньому (випуклому) боку диску	ПГ-С27	0,6...0,9	8,65
		ПГ-С27	0,1...0,55	7,16
		ПГ-С27	1,4...1,8	3,00

Навіть у технології нульового обробітку ґрунту часто доводиться застосовувати дискові борони для вирівнювання ґрунту. Таким чином, при обробітку практично всіх польових культур дискові борони застосовуються у всіх застосовуваних технологіях підготовки ґрунту до посіву. Вирізні диски навіть при відносно невеликих діаметрах більш надійно захоплюють пожнивні залишки і перерізають їх або переступають через них, легше заглиблюються в ґрунт і постійно знаходяться в зачепленні з щільним дном борозни, що сприяє збереженню обертів диска, отже, і виключенню явища протягування і забивання борін ґрунтом та пожнивними залишками. Форма та розміри вирізів дисків бувають різні залежно від умов роботи.

Диски з напівкруглими вирізами форми різних розмірів (рис. 5.40). Диски з вирізами більшого розміру з заглибленням в диск до 30...60 мм (рис. 5.40, а) призначені одночасно і для перерізання залишків пожнив і для забезпечення більш надійного зчеплення з ґрунтом. Диски з вирізами радіусом до 30 мм (рис. 5.40, б) в основному призначені для забезпечення більш надійного обертання диска. Таким чином, наявність конструктивних елементів у вигляді вирізів диска дозволяє захопити та зафіксувати стебло у ґрунті, забезпечити різання пожнивних залишків.

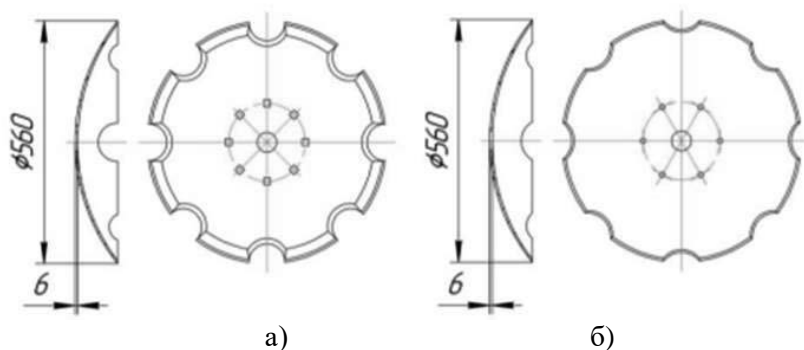


Рис. 5.40 – Диски з круглими вирізами по периферії диску:  
а – диски з вирізами 30...60 мм; б – з вирізами до 30 мм

В процесі роботи відбувається зношування робочих поверхонь дискових борін в результаті «дряпання» метала гострими кутами і ребрами твердих частинок ґрунту.

Виходячи з сучасних уявлень про види зношування робочі органи ґрунтообробних машин піддаються наступним видам зношування:

- абразивному – в результаті ріжучої або дряпаючої дії твердих тіл або твердих частинок;

- втомному – внаслідок втомного руйнування при повторному деформуванні мікрооб'ємів матеріалу поверхневого шару при терті ковзання або кочення;

- окислювальному – в результаті хімічної реакції матеріалу з киснем або окисним навколишнім середовищем.

При переміщенні деталі в ґрунті, вкрай різноманітному в гранулометричному відношенні і здатному створювати незліченні варіації шару частинок за розміром контактних майданчиків і діючим навантаженням, найімовірніше протікання змішаних процесів зношування (мікрорізання, полідеформаційне руйнування, втомне деформування, хімічне). Інтенсивність зносу поверхонь дискових робочих органів залежить від режимів зношування, зношувальної здатності ґрунту, властивостей поверхні, що зношується. Зміна розмірів та форми робочих поверхонь при зношуванні в більшості випадків погіршує функціонування робочих органів, призводить до зниження їхньої працездатності. Граничний рівень працездатності робочих органів визначається міцнісними, агротехнічними чи техніко-економічними показниками, користуючись якими встановлюють гранично допустимі значення зносу. Робочі органи ґрунтообробних машин піддаються в основному абразивному зношуванню і зношуванню в результаті тертя контактуючих поверхонь деталей, що сполучаються. Істотний вплив на інтенсивність зношування мають такі взаємозалежні параметри як твердість і вологість оброблюваного ґрунту.

Робочі органи у зубчастих борін беруть на себе все навантаження. Орієнтовний тиск на один зуб може коливатися від 3 кг (20-30Н) у важких борін до 0,5-1 кг (5-10 Н) у легких моделей. Дискові борони є одними з найуразливіших частин сільськогосподарської машини через вплив на них підвищеного

навантаження та абразивного впливу ґрунту і піддаються підвищеному зносу. Зношування дисків визначається як різниця розмірів зношеного та нового диска (рис. 5.41).

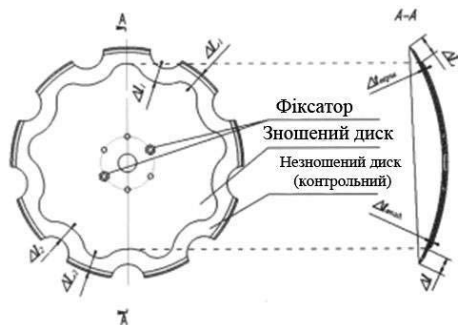


Рис. 5.41 – Схема вимірювання зносів та параметри, що контролюються

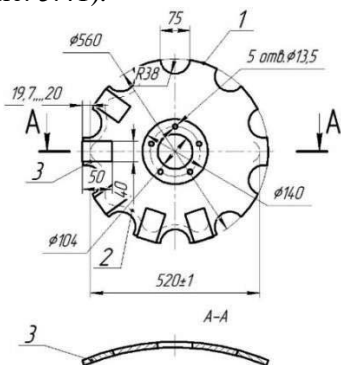


Рис. 5.42 – Схема відновлення диску:  
1 – новий диск;  
2 – зношений; 3 – вставка

Аналіз розподілу зношування зубів показав, що найбільш ймовірними є зношування вершин зубів 28,9-32,1мм (ймовірність появи дисків з таким зношуванням становить 28-31%). Виходячи з практичного досвіду, слід вважати придатними деталі зі зносами, що не перевищують 24 мм. Потрібно відзначити, що таке зношування забезпечує повне стирання зубів, що неприпустимо за агротехнічними умовами. У зв'язку з тим, що знос по вершинах зубів є випереджальним, дані про знос западин не можуть визначати граничний стан диска і надають мінімальний вплив на розробку технологій зміцнення та відновлення.

Для відновлення дисків типу «Ромашка» як для вітчизняної так і імпоротної сільськогосподарської техніки запропонована наступна технологія (рис. 5.42):

- на вершинах зношених (по середині) зубів диску вирізаються плазморізом пази шириною  $40,5 \text{ мм} \pm 0,1$  і глибиною  $24,5 \text{ мм} \pm 0,1$ ;

- з листів ресор з урахуванням аналізу розподілу зносів зубів дисків і розмірів вихідного матеріалу вирізаються пластини  $50 \times 40 \pm 0,1$  мм;

- поверхні вирізів та пластини зачищають;

- пластини вставляють у пази диску і приварюють в кругову з обох сторін, електродом  $\varnothing 3,0$  мм УОНІ-13/55 відновлюючи зовнішній діаметр диску.

Таким чином відновлюється зовнішній діаметр диску, його зовнішній вид – «Ромашка» та функції робочого органу.

### **Контрольні питання до розділу 5**

1. Основні дефекти блоків циліндрів та блок-картерів та способи їх усунення.

2. Відновлення дефектів колінчастого валу.

3. Основні дефекти поршнів та способи їх усунення.

4. Відновлення поршневих пальців гідротермічною роздачою.

5. Технологічний процес відновлення гільз циліндрів ДВЗ.

6. Особливості відновлення шатунів.

7. Основні дефекти корпусних деталей трансмісії та способи їх усунення.

8. Способи відновлення шестерень та шліцьових валів.

9. Технологічні процеси відновлення шестерень гідронасосів.

10. Технологічні процеси відновлення та зміцнення лемішів плугів та лап культиваторів.

11. Відновлення та зміцнення деталей типу диск.

## Література

1. Технологія ремонту машин та обладнання: навч. посібник / О.І. Сідашенко, О.В. Тіхонов, С.О. Лузан та ін. Харків: ХНТУСГ, 2017. 361 с.
2. Ремонт машин та обладнання: підручник / за ред. проф. О.І. Сідашенко, О.А. Науменка. К.: Агроосвіта, 2014. 665 с.
3. Кальченко В.І., Кальченко В.В., Венжега В.І. Відновлення деталей автомобілів: навчальний посібник. Чернігів: ЧНТУ, 2013. 192 с.
4. Герук С.М., Сукманюк О.М. Відновлення деталей сільськогосподарських машин зварюванням і наплавленням: становлення і розвиток: монографія. К.: 2011. 198 с.
5. Черновол М.І., Шепеленко І.В. Системний підхід до формування показників якості відновлених деталей. *Збірник наукових праць ЦНТУ. Науковий вісник. Технічні науки. Кропивницький*, 2023. Вип.7 (38)\_І. С.30-36.
6. Methodology of technological design in the restoration of parts. / Alexander Permyakov, Yakiv Nemyrovskiy, Eduard Posviatenko and Ihor Shepelenko. *Journal of Physics: Conference Series, Mater. Sci. Eng.* 2023. 1277 012013. pp.1-7. doi:10.1088/1757-899X/1277/1/012013
7. Методологія технологічного проектування процесу відновлення деталей / М.І. Черновол, О.А. Пермяков, Я.Б. Немировський, І.В. Шепеленко, В.І. Горбулик *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: *Технології в машинобудуванні*: зб. наук.пр. Харків : НТУ «ХПІ», 2023. № 2 (8) 2023. С. 10-16.
8. Шепеленко І.В., Немировський Я.Б., Посвятенко Е.К. Технологія зміцнення робочої поверхні гільз циліндрів із забезпеченням їх антифрикційних властивостей. *Технологія і техніка друкарства*. 2022. (175). С 29-36.
9. Shepelenko, I., Nemyrovskiy, Y., Posviatenko, E.. Improving the quality of antifriction coatings using plastic deformation. *Mechanics and Advanced Technologies*. 2022. 6(1). Pp. 24-30.
10. Шепеленко І.В., Магопець М.С. Загальна структура технологічного процесу відновлення деталей машин. *Молода*

наука – роботизація і нанотехнології сучасного машинобудування: Збірник наукових праць міжнародної молодіжної науково-технічної конференції, 12 – 14 квітня 2023 р. Краматорськ, Тернопіль: ДДМА, 2023. С.290-293.

11. Черновол М.І., Шепеленко І.В., Магопець С.О. Відновлення та зміцнення деталей машин зносостійкими покриттями. *Матеріали та технології в інженерії (МТІ-2023): інженерія, матеріали, технології, транспорт*: збірник наукових доповідей міжнародної конференції, 16-18 травня 2023 р. Луцьк: Вежа-Друк, 2023. С.264-266.

12. Дослідження зносостійкості покриттів для деталей сільськогосподарської техніки, нанесених газополуменевим наплавленням. / І. Василенко, І. Шепеленко, М. Красота, С. Колісник. Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки». Кропивницький: ЦНТУ. 2023. С.238-239.

13. Пошук оптимальних параметрів фінішної антифрикційної безабразивної обробки гільз циліндрів автотракторних двигунів. / І.В. Шепеленко, М.І. Черновол, С.М. Лещенко та ін. *Збірник наукових праць. Науковий вісник. Технічні науки*. Кропивницький, 2023. №8 (39) II. С.11-23.

14. Systematic approach to the study of working surfaces wear of automotive and tractor equipment parts. / M. Chernovol, V. Kropivniy, Y. Kuleshkov, I. Shepelenko, V. Gutsul. *Problems of Tribology*. 2024. 29(1/111). Pp. 53-60.

15. Молодик М.В., Лангергт Б.А., Бредун А.К. Відновлення деталей машин. К.: Урожай, 1985. 156 с.

16. Руденко П.О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні: навч. посібник. К.: Вища школа, 1993. 414 с.

17. Хітров І.О., Гавриш В.С. Ремонт машин і обладнання: навч. посібник. Рівне: НУВГП, 2012. 184 с.

18. Надійність сільськогосподарської техніки: підручник. Друге видання, перероблене і доповнене / М.І. Черновол, В.Ю. Черкун, В.В. Аулін та ін. Кіровоград: КОД, 2010. 320 с.

19. Практикум з ремонту машин. Загальний технологічний процес ремонту та технології відновлення і зміцнення деталей

машин: навч. посібник. / О.І. Сідашенко, О.В. Тіхонов, Т.С. Скобло та ін. Харків: ТОВ «Пром-Арт», 2018. 416 с.

20. Скобло Т.С. Особливості структурних змін лежить на поверхні тертя. Зб. *Підвищення надійності відновлюваних деталей машин*. Харків, 1997. С. 4-10.

21. Технологічні методи ремонтного відновлення деталей машин: навч. посібник / Д.Л. Радик, М.Г. Левкович, В.В. Васильків, М.Д. Радик. Тернопіль: Видавництво ТНТУ імені Івана Пулюя, 2014. 213 с.

22. Методи поверхневого зміцнення у процесі виготовлення деталей машин: навч. посібник. / А.Г. Фесенко та ін. Д.: РВВ ДНУ, 2015. 104 с.

23. Зносостійкість сплавів, відновлення та зміцнення деталей машин: навч. посіб. / С.П. Бережний, М.М. Бриков, М.М. Бриков та ін. Запоріжжя: ВАТ «Мотор Січ», 2006. 420 с.

24. Чередніков О.М. Технологічні основи ремонту машин і відновлення деталей: навч. посібник. Чернівці: ЧДТУ, 2008. 212 с.

25. Введення в технічний сервіс машин: методи усунення несправностей машин та обладнання: навч. посібник / М.І. Черновол, І.М. Риблко, О.В. Тіхонов, І.В. Шепеленко, О.А. Науменко, О.Д. Мартиненко. Харків: «Діса плюс», 2024. 158 с.

26. Establishing optimal parameters for resistance welding of agricultural machinery shafts. / M. Chernovol, I. Shepelenko, I. Vasylenko, S. Leshchenko, M. Krasota, A. Artyukhov. *Problems of Tribology*. 2024. 29(2/112). Pp. 50–57.

27. Немировський Я.Б., Шепеленко І.В., Красота М.В. Оцінка міцності поршневих пальців, відновлених за рахунок роздачі внутрішнього отвору. *Збірник наукових праць. Науковий вісник. Технічні науки*. Кропивницький, 2022. Вип. 5. (36) І. С.14–22.

28. Сучасний інструмент і машини для інтенсифікації слюсарно-ремонтних робіт: навч. посібник / І.М. Рибалко, О.В. Тіхонов, О.А. Науменко, І.В. Шепеленко, О.Д. Мартиненко, О.О. Гончаренко, С.В. Лисенко. Харків: «Діса плюс», 2024. 214 с.



Навчальне видання

**ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ  
ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

Навчальний посібник

**ЧЕРНОВОЛ** Михайло Іванович  
**ШЕПЕЛЕНКО** Ігор Віталійович  
**ВАСИЛЕНКО** Іван Федорович  
**КРАСОТА** Михайло Віталійович  
**ТІХОНОВ** Олександр Всеволодович  
**НАУМЕНКО** Олександр Артемович  
**РИБАЛКО** Іван Миколайович

Підписано до друку 24.12.2024р.  
Формат 70x108 1/16 Папір офсетний. Друк різнографічний.  
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 15,5  
Обл. – друк. арк. 11,2  
Наклад 100 прим. Зам № 42

Видавництво «Діса плюс»  
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до  
Державного реєстру видавців, виготівників та  
розповсюджувачів видавничої продукції:  
серія ДК№ 4047 від 15.04.2011р.

Надруковано в друкарні «БУКЛАЙН»  
61000, м.Харків, вул. Катерининська, 46.  
Тел. (099) 604-49-45  
[www.bookline.online](http://www.bookline.online)