

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРНІГІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

**Відновлення
деталей автомобілів
(НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК)**



ЧЕРНІГІВ 2013

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРНІГІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

В.І. КАЛЬЧЕНКО, В.В. КАЛЬЧЕНКО, В.І. ВЕНЖЕГА

Відновлення деталей автомобілів

Навчальний посібник

**Рекомендовано Міністерством освіти і України
як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів**

ЧЕРНІГІВ 2013

УДК 629.33: 621.81.004.67(075.8)

ББК 39.33-08я 73

К 17

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів
(лист № від)

Рецензенти:

О.М. Коробочка, док. техн. наук, професор, ректор Дніпродзержинського державного технічного університету, зав. каф. «Автомобілі та автомобільне господарство»;

Г.Ф. Бабушкін, док. техн. наук, професор, зав. кафедри «Транспортні технології» Запорізького національного технічного університету;

А.П. Фалалєєв, канд. техн. наук, доцент, проректор з наукової роботи Севастопольського національного технічного університету;

О.А. Пермяков, док. техн. наук, професор, заст. зав. каф. «Технологія машинобудування» Національного технічного університету України «ХП»

В.І. Кальченко, В.В. Кальченко, В.І. Венжега

К 17 Відновлення деталей автомобілів: Навчальний посібник.– Чернігів: ЧНТУ, 2013. – 192с.; іл.

ISBN 966-311-003-1

В навчальному посібнику розглянуті характерні несправності деталей, вузлів та агрегатів автомобілів, описані сучасні методи їх відновлення. Наведені приклади і конкретні рекомендації до виконання технологічних прийомів відновлення деталей із вказанням застосовуваного обладнання, матеріалів, режимів операцій.

Посібник призначений для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за спеціальностями «Автомобілі та автомобільне господарство», «Обладнання та технологія підвищення зносостійкості і відновлення деталей машин», «Двигуни внутрішнього згоряння». Книга може бути корисною для механіків, слюсарів автосервісу та водіїв.

УДК 629.33: 621.81.004.67(075.8)

ББК 39.33-08я 73

ISBN 966-311-003-1

© В.І. Кальченко, В.В. Кальченко,
В.І. Венжега, 2013

© Чернігівський національний
технологічний університет, 2013

Зміст

Вступ	5
1. Способи відновлення деталей.....	6
1.1. Чинники, що визначають ефективність відновлення деталей.....	6
1.2. Критерії вибору найвигіднішого способу відновлення деталей	7
1.3. Оцінка ефективності технологічного процесу.....	8
1.4. Критерії ефективності ремонтних робіт.....	10
1.5. Загальна структура технологічного процесу.....	12
1.6. Технологічний процес відновлення деталей.....	14
1.7. Класифікація способів відновлення деталей.....	16
2. Відновлення слюсарно-механічною обробкою.....	19
2.1. Вибір обладнання.....	19
2.2. Інструментальні матеріали.....	24
2.3. Абразивні матеріали.....	31
2.4. Нормування верстатних робіт.....	35
2.5. Нормування механізовано-ручних робіт.....	45
2.6. Відновлення деталей способом ремонтних розмірів.....	47
2.7. Відновлення деталей способом додаткових ремонтних деталей.....	49
3. Відновлення деталей способом пластичного деформування.....	52
3.1. Сутність процесу пластичного деформування.....	52
3.2. Способи пластичного деформування для відновлення зношених повехонь.....	53
3.3. Відновлення форми деталей.....	57
3.4. Відновлення механічних властивостей деталей.....	58
4. Відновлення деталей зварюванням і наплавленням.....	60
4.1. Загальна характеристика процесів зварювання і наплавлення.....	60
4.2. Газове зварювання і наплавлення.....	62
4.3. Електродугове зварювання і наплавлення.....	64
4.4. Відновлення зварюванням деталей із сірого і ковкого чавуну.....	68
4.5. Відновлення зварюванням деталей із алюмінієвих сплавів.....	71
4.6. Відновлення деталей автоматичним наплавленням під флюсом.....	73
4.7. Відновлення деталей зварюванням і наплавленням в середовищі захисних газів.....	77
4.8. Відновлення деталей вібродуговим наплавленням.....	80
4.9. Перспективні способи наплавлення.....	84
5. Відновлення деталей напиленням.....	87
5.1. Сутність процесу і види напилення.....	87
5.2. Матеріали, що напиляються.....	93
5.3. Структура і властивості напилених покриттів.....	94
5.4. Технологічний процес напилення.....	96
6. Відновлення деталей електрохімічними і хімічними покриттями.....	97
6.1. Сутність процесу електрохімічного осадження металів.....	97
6.2. Хромування деталей.....	98
6.3. Інтенсифікація процесу відновлення деталей хромуванням.....	103

6.4. Відновлення деталей залізненням.....	106
6.5. Відновлення деталей електроконтактним способом.....	110
6.6. Захисно-декоративні покриття.....	112
6.7. Відновлення деталей хімічним способом.....	113
7. Відновлення деталей припіканням металічних порошків.....	116
7.1. Сутність способу і різновиди.....	116
7.2. Отримання пористих і самозмащувальних покриттів.....	117
7.3. Індукційне припікання металічних порошків.....	119
7.4. Відновлення деталей різної форми електроконтактним припіканням.....	123
8. Електрофізична обробка.....	128
8.1. Електроіскрова обробка.....	128
8.2. Електромеханічна обробка.....	133
8.3. Лазерна обробка.....	136
9. Застосування синтетичних матеріалів при відновленні деталей.....	142
9.1. Види і властивості матеріалів.....	142
9.2. Виготовлення деталей і нанесення покриттів.....	144
9.3. Закріплення додаткових ремонтних деталей і зароблення тріщин....	147
9.4. Клейові композиції.....	148
9.5. Герметизація стиків та стінок.....	149
10. Проектування технологічних процесів відновлення деталей.....	153
10.1. Розробка і оптимізація технологічного процесу.....	153
10.2. Приклад вибору і оптимізації технологічного процесу.....	156
10.3. Технічне нормування праці.....	158
10.4. Уніфікація технологічних процесів.....	160
10.5. Технологічна документація.....	162
11. Відновлення типових деталей автомобілів.....	167
11.1. Обґрунтування класів відновлюваних деталей.....	167
11.2. Відновлення корпусних деталей.....	167
11.3. Відновлення деталей типу пустотілих циліндрів.....	170
11.4. Відновлення деталей типу круглих стрижнів.....	172
11.5. Відновлення деталей типу некруглих стрижнів.....	177
12. Сучасні технології при відновленні типових деталей автомобілів.....	180
12.1 Відновлення колінчастих валів.....	179
12.2 Відновлення розподільних валів.....	184
12.3 Відновлення деталей типу ступінчастих валів та осей.....	187
12.4 Безцентрове кругле шліфування.....	190
12.5 Двостороннє торцеве шліфування.....	193
Література.....	196

ВСТУП

За обсягами перевезень вантажів та пасажирів у транспортній системі країни перше місце належить автомобільному транспорту. Пасажирськими автомобільними транспортними засобами (АТЗ) перевозиться щорічно у 5 разів більше пасажирів, ніж усіма іншими видами транспорту. На автомобільний транспорт припадає приблизно 80% усіх вантажів господарського комплексу держави. Усе це свідчить про надзвичайну важливість розвитку цього виду транспорту, як невід'ємного елемента єдиної транспортної системи. Очевидно, що основним призначенням автомобільного транспорту, як і будь якого іншого, є високоякісне задоволення всезростаючого попиту на перевезення вантажів і пасажирів.

Однак, під час реалізації транспортних процесів конструктивні елементи АТЗ з причин проходження в них природних процесів зношування тертям, корозії, втоми матеріалів, старіння втрачають (частково чи повністю) роботоздатність. В результаті погіршуються експлуатаційні властивості АТЗ (динамічність, керованість, прохідність, надійність тощо), або у гіршому разі АТЗ зупиняються з причин поломок, виходу з ладу їх конструктивних елементів.

Найтриваліші терміни експлуатації АТЗ будуть досягнені, якщо вони не тільки використовуватимуться безпосередньо за призначенням, але й виконуватимуться необхідні ремонтно-обслуговувальні дії (РОД), обумовлені в інструкціях з експлуатації АТЗ, чи відповідним положенням про технічне обслуговування (ТО) і ремонт. Отже, крім прямого використання АТЗ за призначенням, у їх життєвому циклі передбачено і виконання комплексу РОД у вигляді технічних обслуговувань, ремонтів, усунення відмов на лінії тощо.

Відновлення деталей є основним джерелом ефективності авторемонтного виробництва. Більшість деталей має залишковий ресурс і може бути використано повторно в результаті проведення порівняно невеликого об'єму робіт по їх відновленню.

Витрати на відновлення деталей в умовах сучасних авторемонтних підприємств (АРП) складають залежно від конструктивно-технологічних особливостей деталей і характеру їх дефектів 10 – 50% від вартості нових деталей.

Актуальність запропонованого видання обумовлена необхідністю постійного оновлення навчальних матеріалів по ремонту та відновленню деталей автомобілів, зокрема і українською мовою, включенням у навчальний процес сучасних методів відновлення, наповнення його сучасною інформацією практичної спрямованості, що орієнтована на активізацію самостійної творчої роботи майбутніх фахівців за напрямом підготовки «Автомобільний транспорт».

1 Способи відновлення деталей

1.1. Чинники, що визначають ефективність відновлення деталей.

Більшість сучасних машин, механізмів і устаткування, як і інші види технічних пристроїв із тривалими термінами експлуатації, є відновлюваними, тобто дефекти, що виникли при експлуатації і перешкоджають виконанню обумовлених конструкцією і службовим призначенням функцій, можуть бути усунені засобами ремонту.

Ремонтне виробництво — особливий вид обслуговувального виробництва машин, що має справу з нерівномірністю спрацювання поверхонь їх деталей і нестабільністю посадок і регулювання. У ремонтному виробництві можна виділити наступні основні стадії робіт:

- ◆ діагностування;
- ◆ розбірно-мийні роботи;
- ◆ відновлювальні роботи;
- ◆ складання;
- ◆ контроль та випробування.

Відновлення деталей – це технологічний процес відновлення їх роботоzдатності і технічного ресурсу шляхом повернення геометричних параметрів і механічних властивостей, що змінилися за час експлуатації, і доведення їх до нормативних значень.

Відновлення деталей є основним джерелом ефективності авторемонтного виробництва. Деталі втрачають свою роботоzдатність в результаті зношування, механічних і корозійних пошкоджень, а також внаслідок втоми металу. Проте більшість з них має залишковий ресурс і може бути використано повторно в результаті проведення порівняно невеликого об'єму робіт по їх відновленню.

Витрати на відновлення деталей в умовах сучасних авторемонтних підприємств (АРП) складають залежно від конструктивно-технологічних особливостей деталей і характеру їх дефектів 10 – 50% від вартості нових деталей.

Економічна ефективність відновлення деталей в порівнянні з їх виготовленням визначається багатьма чинниками.

При відновленні деталей значно зменшуються витрати на матеріали. Якщо витрати на матеріали і отримання заготовок при виробництві автомобілів складають 70 – 75 % від їх вартості, то при відновленні деталей – 1 – 12 % в залежності від способу відновлення.

Значно скорочуються витрати, пов'язані з обробкою деталей, оскільки обробляються лише поверхні, що мають знос або механічні пошкодження.

Відновлення деталей дозволяє зменшити потреби у виробництві запасних частин і скоротити витрати на їх придбання, які складають 40–60 % від собівартості капітального ремонту автомобілів.

Таким чином, при відновленні деталей досягається значна економія сировинних, енергетичних і трудових ресурсів.

Витрати на ремонт не постійні і збільшуються в період експлуатації устаткування до його фізичного чи морального спрацювання. «Стару» техніку іноді

вигідніше замінити «ноюю», не вкладаючи величезні кошти в її ремонт. Існує поняття оптимальної якості, яке визначається порівнянням затрат, які викликані підвищенням якості, із затратами, які нестиме споживач, придбавши виріб кращої якості.

1.2. Критерії вибору найвигіднішого способу відновлення деталей машин.

При сучасному технічному оснащенні ремонтних підприємств деталі можливо не тільки відновлювати, але й збільшувати термін їхньої служби. Довговічність деталей після ремонту у великій мірі залежить від того, якими способами проводиться їх відновлення і як воно організовано. Застосування найбільш ефективних способів забезпечує тривалі терміни служби деталей, знижує витрати запасних частин, матеріалів, затрати праці, тощо. Поряд із застосуванням раціональних способів для високоякісного відновлення деталей з найменшими затратами праці і засобів також має значення організація виробництва. У цьому відношенні велику роль відіграє централізоване відновлення на спеціалізованих заводах і в цехах та майстернях, що добре оснащені сучасним устаткуванням, пристроями, інструментом.

Вибір способу відновлення деталі слід проводити з урахуванням комплексного аналізу технічної і економічної доцільності їх застосування. Для вибору способу відновлення деталей машин використовують такі критерії.

1. Критерій застосовності. Вибір способу відновлення перш за все залежить від конструктивно-технологічних особливостей і умов роботи деталей, величини їх спрацювання, експлуатаційних властивостей самих способів, що визначають довговічність відремонтованих деталей, і вартості їх відновлення.

Конструктивно-технологічні особливості деталі визначаються:

- а) геометричною формою і розмірами;
- б) матеріалом і термообробкою, твердістю поверхні;
- в) точністю виготовлення і жорсткістю поверхні – тобто структурними характеристиками;
- г) характером з'єднання (типом посадки);
- д) умовами роботи і впливом навколишнього середовища (характером навантаження, видом тертя, величиною спрацювання за експлуатаційний період).

Знання конструктивно-технічних характеристик деталей, умов їх роботи, дозволяє вирішити питання про можливість застосування того чи іншого способу відновлення. За допомогою такого аналізу можна встановити, які з деталей можна відновити кількома способами, а які за своїми структурними характеристиками допускають тільки один спосіб відновлення.

Цей критерій дозволяє визначити можливість застосування способів відновлення до конкретних деталей і може бути названий технологічним критерієм чи критерієм застосовності. Так, можна попередньо сказати, що деталі невеликого діаметру, які мають велику твердість поверхні і незначне спрацювання, нерационально відновлювати металізацією і наплавкою ручним електродуговим зварюванням і автоматичним зварюванням під шаром флюсу.

Не можна також застосовувати хромування для деталей з великим спра-

цюванням. Критерій застосовності не може бути виражений числом і є по суті попереднім, оскільки з допомогою його не можна вирішити питання вибору раціонального способу відновлення деталей машин, якщо цих способів може бути кілька. Критерій можливості застосування дозволяє класифікувати деталі за способом відновлення і виявити перелік деталей, відновлення яких можливе різними способами.

2. *Критерій довговічності* – оцінка способів відновлення з точки зору довговічності, яку вони забезпечують. Довговічність залежить від експлуатаційних властивостей. Найбільш раціональним способом тут виявляється той, що забезпечує найбільшу довговічність відновленої деталі. Цей критерій виражається чисельно через коефіцієнт довговічності для кожного із способів відновлення.

Коефіцієнтом довговічності називається відношення довговічності відновленої деталі (B_v) до довговічності нової (B_n):

$$K_d = \frac{B_v}{B_n}.$$

Чим більший цей коефіцієнт, тим спосіб відновлення більш досконалий.

3. *Критерій економічності* визначає затрати на відновлення деталей машин даним способом. Виражається він через вартість відновлення деталі, що визначається за формулою:

$$C_v = \left[C \cdot \left(1 + \frac{H_1 + H_2}{100} + M \right) \right] \cdot \left(1 + \frac{P}{100} \right),$$

де C – основна заробітна плата, грн;

H_1 – побічні цехові витрати, у відсотках до основної заробітної плати;

H_2 – побічні загальноцехові витрати, у відсотках до основної заробітної плати;

M – вартість матеріалів для нанесення покриття, грн;

P – прибуток, запланований ремонтним підприємством, %.

4. *Техніко-економічний критерій*. Є узагальнюючим критерієм, який пов'язує всі перераховані вище критерії. За цим критерієм можна остаточно вирішити питання про вибір раціонального способу відновлення деталі. Техніко-економічний критерій визначається за формулою:

$$C_v \leq K_d C_n,$$

де C_v – вартість відновленої деталі, грн;

C_n – вартість нової деталі, грн.

1.3. Оцінка ефективності технологічного процесу

Варіанти технологічного процесу виготовлення деталі або її відновлення оцінюють шляхом порівняння собівартості виготовлення виробів. Розрізняють собівартість машини (цехову, заводську), собівартість виробів і окремих операцій технологічного процесу їх виготовлення. Додатково варіанти технологічного процесу можуть порівнюватися за іншими показниками: трудомісткістю, ко-

ефіцієнтом використання металу, коефіцієнтом завантаження устаткування та ін.

Для співставлення варіантів процесу використовують здебільшого цехову собівартість. Найбільш широко застосовуються бухгалтерський та поелементний методи визначення собівартості.

Бухгалтерський метод. Собівартість обробки партії заготовок визначають:

$$C = An + B,$$

де A – поточні витрати (тобто витрати, що повторюються при виготовленні кожної окремої заготовки), грн;

n – число заготовок у партії, шт;

B – одноразові затрати (здійснюються один раз на всю кількість заготовок або періодично на певну їх частину), грн.

Поточні витрати A визначають:

$$A = C_{заг} + C_3 \left(1 + \frac{P}{100}\right),$$

де $C_{заг}$ – вартість вихідної заготовки, грн;

C_3 – витрати на заробітну плату основних робітників та всі цехові витрати (амортизація та ремонт устаткування, утримання будівель і споруд, витрати на інструмент та іншу технологічну оснастку, витрати на електроенергію, витрати на заробітну плату інженерно-технічних робітників, управлінського і обслуговуючого персоналу, а також допоміжних робітників цеху), грн.

При калькуляції собівартості цехові витрати прийнято визначати у відсотках P від заробітної плати основних робітників цеху. У різних умовах відсоток накладних витрат може дорівнювати від 150 до 800%.

Бухгалтерський метод застосовують при приблизному визначенні собівартості порівняно однорідної продукції цеху, що виготовляється на однакових за складністю і розмірами устаткуванні та оснастці.

Поелементний метод (метод прямого розрахунку складових). Повна собівартість, що відповідає цеховій:

$$C_T = C_3 + C_{зн} + C_e + C_d + C_{риз} + C_m + C_a + C_p + C_n + C_{пл} + C_o + C_{вих.заг},$$

де C_3 – заробітна плата основних робітників з нарахуваннями, грн;

$C_{зн}$ – заробітна плата наладчиків з нарахуваннями, грн;

C_e – витрати на електроенергію, грн;

C_d – витрати на допоміжні матеріали, грн;

$C_{риз}$ – витрати на амортизацію і ремонт різального інструменту, грн.;

C_m – витрати на амортизацію і ремонт вимірювального інструменту, грн;

C_a – витрати на амортизацію устаткування, грн;

C_p – витрати на ремонт і модернізацію устаткування, грн;

C_n – витрати на ремонт і модернізацію пристроїв;

$C_{пл}$ – витрати на амортизацію, ремонт, освітлення, опалення, прибирання виробничих приміщень, грн;

C_o – витрати на заробітну плату допоміжних робітників, ІТР, службовців, амортизацію допоміжного устаткування, грн;

$C_{вих.заг}$ – вартість заготовки за вирахуванням реалізованих відходів (стружки), грн.

Для спрощення розрахунків при використанні поелементного методу технологічні процеси порівнюють тільки за змінними складовими.

Для умов дрібно- і середньосерійного виробництва застосовують спрощений поелементний метод, коли складові знаходять не прямим розрахунком за формулами, а по таблицям витрат, віднесених до 1 хв або 1 год роботи верстата.

При порівнянні варіантів технологічних процесів, у яких необхідні істотні витрати на придбання устаткування, оснастки, тощо, термін окупності капітальних вкладень визначається:

$$T_{ок} = (K_2 - K_1) / (C_1 - C_2),$$

де K_1 і K_2 – капітальні вкладення за першим і другим варіантом, що враховують додаткові капітальні вкладення;

C_1 і C_2 – собівартість річного випуску відповідно за першим і другим варіантом.

Приблизна структура собівартості та складові ефективності ремонту дозволять проводити пошук напрямків удосконалення ремонтного виробництва з урахуванням економічних критеріїв.

1.4. Критерії ефективності ремонтних робіт.

При оцінюванні способів відновлення деталей застосовують три критерії .

1. Забезпечення на поверхні тертя такої зносостійкості та міцності відновленої деталі, які б гарантували *довговічність не менше 0,8 ресурсу нової деталі* до першого капітального ремонту:

$$B_в \leq 0,8 \cdot L,$$

де $B_в$, – ресурс відновленої деталі;

L – ресурс нової деталі до першого капітального ремонту.

Цей критерій є основним і вирішальним при виборі способу відновлення спрацьованих деталей.

2. *Собівартість робіт*, пов'язана з повним процесом відновлення спрацьованої чи пошкодженої деталі. Собівартість відновлення деталей повинна бути нижчою за собівартість нової заводської деталі:

$$\frac{\sum S_{вд}}{S_{нд}} \leq 1,$$

де $\sum S_{вд}$ – сума виробничих затрат, що необхідні для відновлення деталі

в умовах ремонтного підприємства (заробітна плата виробничих робітників, вартість матеріалів, що витрачаються на відновлення деталі, накладні витрати, тощо);

$S_{нд}$ – вартість нової заводської деталі.

3. *Вартість експлуатаційних витрат*, що обумовлюється особливостями нової поверхні тертя. Внаслідок цих особливостей зменшуються або збільшуються витрати мастильних матеріалів, витрати часу на проведення технічного обслуговування, ресурс спряженої деталі:

$$\sum S_e \leq \sum S_z,$$

де: $\sum S_e$ – сума всіх експлуатаційних затрат, пов'язаних з обслуговуванням деталі, відновленої при ремонті;

$\sum S_z$ – витрати на обслуговування нової заводської деталі.

Техніко-економічну ефективність способу відновлення деталей при ремонті машин можна виразити таким чином.

1. Встановлюють вартісний показник відновлення непридатної до роботи деталі:

$$\delta_{e.d} = \frac{\sum S_{e.d}}{L} \alpha,$$

де $\delta_{e.d}$ – вартісний показник відновлення деталі, непридатної до роботи, гривень на 1 км міжремонтного пробігу (на 1 годину міжремонтного циклу, на одиницю інших величин, що характеризують роботу машини);

$S_{e.d}$ – собівартість відновлення деталі, грн;

L – міжремонтний термін служби машини, км (год, інших одиниць);

α – коефіцієнт, що характеризує відношення вартості експлуатаційних витрат на обслуговування відновленої деталі до вартості експлуатаційних витрат на обслуговування нової заводської деталі.

2. Встановлюють вартісний показник у випадку заміни непридатної деталі новою:

$$\delta_{n.d} = \frac{\sum S_{n.d}}{L},$$

де $\delta_{n.d}$ – вартісний показник при заміні непридатної деталі новою, грн на 1 км (на 1 год, на одиницю інших величин, що характеризують міжремонтний цикл);

$S_{n.d}$ – вартість нової деталі, грн.

У цій формулі відсутній коефіцієнт α , який у даному випадку дорівнює одиниці.

Відношення вартісних показників $\delta_{e.d}$ до $\delta_{n.d}$ за сукупністю всіх критеріїв характеризує економічність відновлення спрацьованих деталей вибраним способом:

$$\beta = \frac{\delta_{e.d}}{\delta_{n.d}} \leq 1,$$

де β – показник економічності відновлення спрацьованої або вибракованої деталі ($\beta < 1$, $\beta = 1$).

Показник β може мати два значення.

При $\beta < 1$ спосіб відновлення деталей є найбільш раціональним. Він задовольняє вимогам першого критерію, тобто забезпечує високу зносостійкість і міцність деталі у межах не менше 0,8 ресурсу нової машини.

При $\beta=1$ спосіб відновлення деталей задовольняє вимогам першого критерію і не призводить до зростання витрат при ремонті і в експлуатації у випадку заміни спрацьованої деталі новою.

Однак, якщо вимоги першого критерію задовільні, а другого і третього ні, то такий спосіб відновлення необхідно проаналізувати з метою встановлення причини високого значення показника економічності β . Частіше за все виявляється, що високе значення показника економічності пояснюється високою собівартістю відновлення деталі, тому слід шукати шляхи зниження трудомісткості робіт впровадженням більш ефективних режимів обробки і застосуванням високопродуктивних пристроїв.

1.5 Загальна структура технологічного процесу

У процесі виробництва зміна якісного стану вихідної заготовки (вихідної сировини) протікає в кілька етапів, їх називають технологічними переділами. Вони умовно об'єднують окремі технологічні процеси по функціональному призначенню.

Згідно з ГОСТ 3.1109-82, *технологічний процес* – це частина виробничого процесу, що містить цілеспрямовані дії по зміні та послідовному визначенню стану предмета виробництва.

Технологічний процес регламентовано єдиною системою технологічної документації (ЄСТД). Він описується рядом технологічних документів:

- маршрутною картою;
- картою технологічного процесу;
- операційною картою та інш.

Операції складають частини технологічного процесу, що виконуються на одному робочому місці.

Робоче місце – ділянка виробничої площі, що обладнана у відповідності із змістом та призначенням роботи, яка на ньому виконується.

Частини (етапи) технологічного процесу (ТП) виготовлення деталі, що відрізняються одна від одної за методом виконання (лиття, штампування; обробка різанням чорнова, чистова, завершальна; термічна обробка; контроль, тощо) можуть складатися з однієї або кількох технологічних операцій (рис. 1.1). Розподіл технологічного процесу на технологічні операції відбувається у відповідності з робочими місцями.

Технологічна операція – закінчена частина технологічного процесу, що виконується на одному робочому місці.

При виконанні технологічної операції заготовка (або кілька заготовок одночасно) повинна займати цілком визначене стале положення. Заготовка (або складальна одиниця) може закріплюватися (установлюватися) одноразово або перезакріплюватися (переустановлюватися) декілька разів на одному робочому місці (на одному верстаті), змінюючи своє просторове положення. Таке однократне положення виробу, що ремонтується характеризується установом.

Установ – частина технологічної операції, що виконується при незмінному закріпленні оброблюваної заготовки або складальної одиниці, що ремонтується.

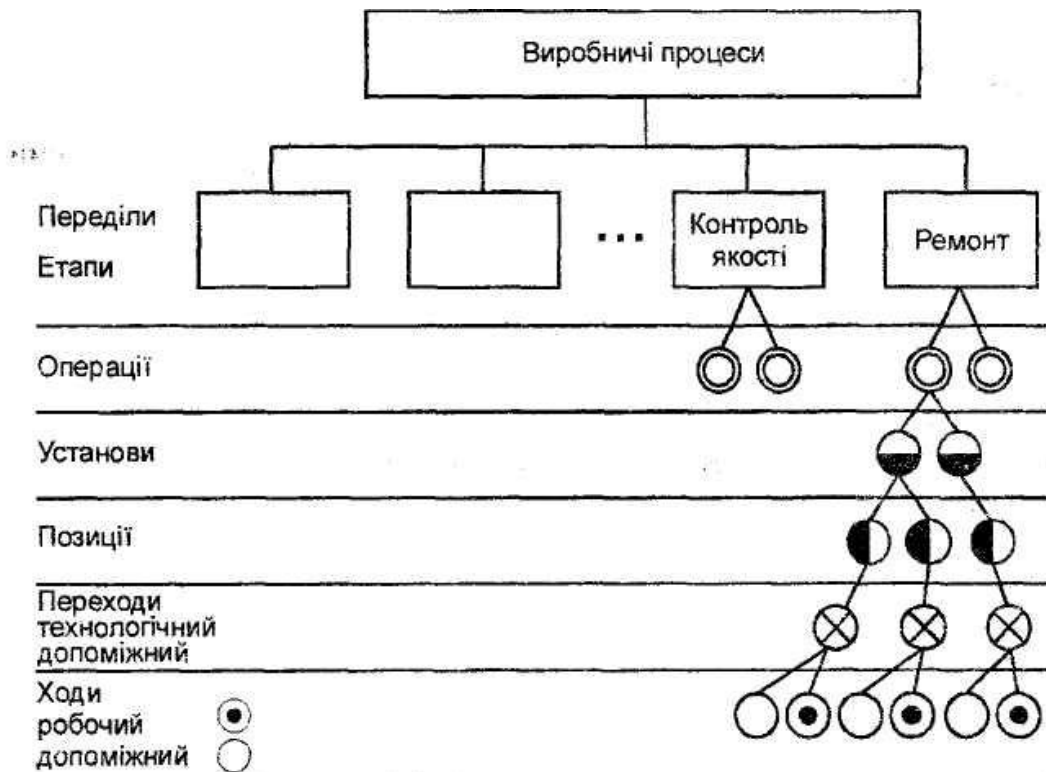


Рис.1.1 – Структура технологічного процесу

Іноді доводиться незмінно закріплену в пристосуванні заготовку переміщувати в інше положення стосовно системи координат верстата (робочого місця). У цьому випадку технологічна операція складатиметься з кількох позицій.

Позицією називається певна частина технологічної операції, що характеризується фіксованим положенням незмінно закріпленої заготовки, деталі, що відновлюються, або складальної одиниці разом із пристосуванням відносно системи координат інструменту чи нерухомої частини устаткування.

Закінчена частина технологічної операції, що виконується тими самими засобами технологічного оснащення при постійних технологічних режимах і одному установі, називається переходом. Переходи поділяються на технологічні і допоміжні.

Технологічний перехід – закінчена частина технологічної операції, що характеризується постійністю різального інструмента і поверхонь, що утворюються при обробці або з'єднуються при складанні.

Технологічний перехід супроводжується зміною форми, розмірів, шорсткості, властивостей заготовки (властивостей матеріалів) або відносного розташування поверхонь деталей, що з'єднуються при складанні.

Допоміжний перехід – закінчена частина технологічної операції, що складається з дій людини або устаткування, які не супроводжуються зміною характеристик заготовки чи відносного розташування поверхонь при складанні, але необхідні для виконання технологічного переходу.

Технологічний перехід поділяється на робочий і допоміжний хід.

Робочий хід (РХ) – закінчена частина технологічної операції, що складається з однократного переміщення різального інструменту відносно заготовки і

супроводжується зміною форми, розмірів тощо.

Допоміжний хід (ДХ) – закінчена частина технологічної операції, що полягає в однократному переміщенні інструменту відносно заготовки і не супроводжується зміною форми, розмірів, але необхідна для виконання робочого ходу.

Прийом (ГОСТ 3.1109-82) – закінчена дія робітника (наприклад, установити, зняти деталь, увімкнути верстат, змінити режими), що служить для нормування технологічних операцій.

У процесі виробництва зміна якісного стану вихідної заготовки (вихідної сировини) стосується фізико-механічних властивостей поверхневого шару, хімічних властивостей матеріалу, розмірів, форми і відносного положення поверхонь, зовнішнього виду тощо. Наприклад:

- ◆ усі види механічної обробки служать, в основному, для зміни форми, розмірів і відносного положення поверхонь заготовки;

- ◆ термічна обробка служить для зміни фізико-механічних властивостей заготовки;

- ◆ складання проводиться для надання необхідного відносного положення деталей у складальній одиниці;

- ◆ фарбування впливає, в основному, на зовнішній вигляд, проте надає і інших властивостей виробам (відбиваюча здатність, захист від корозії тощо).

Структури виробничих і технологічних процесів, технологічних операцій виготовлення та ремонту машин, обробки та відновлення поверхонь деталей мають багато загального і побудовані за ієрархічним принципом.

1.6 Технологічний процес відновлення деталей.

Деталі ремонтуємих виробів під час свого перетворення при відновленні перебувають послідовно в певних станах: деталі ремонтного фонду, початкової і ремонтної заготовок і відновленої деталі. Таке перетворення пов'язане із зміною геометричних параметрів, хімічного складу і структури поверхневих шарів і внутрішніх напружень. Якість відновлених деталей визначається сукупністю властивостей в результаті виконання технологічного процесу (рис. 1.2).

Початкова заготовка – це очищена від забруднень деталь ремонтного фонду з пошкодженнями, що можуть бути усунені. Початкова заготовка перетворюється на *ремонтну заготовку* шляхом створення припусків на відновлюваних поверхнях.

Ремонтна заготовка перетворюється на *відновлену деталь* в результаті нанесення різних покриттів, пластичної деформації, механічної і термічної обробки.

Початкові заготовки вибирають з деталей ремонтного фонду при визначенні їх технічного стану і розділяють на групи з однаковими поєднаннями пошкоджень, що усуваються, які партіями направляють на відповідні ділянки відновлення.

Деякі деталі допускають відновлення їх робочих поверхневих шарів обробкою під ремонтні розміри. У такому разі початкові заготовки перетворюються на ремонтні без нанесення покриттів або переміщення матеріалу.



Рис.1.2. Схема технологічного процесу відновлення деталей

Якщо ремонтні розміри не передбачені або вони вичерпані, то ремонтну заготовку створюють або нанесенням покриття, або установкою додаткової ремонтної деталі (ДРД), або переміщенням металу заготовки пластичною деформацією.

Геометричну форму, розміри і шорсткість робочих поверхонь, а також їх взаємне розташування відновлюють в більшості випадків обробкою різанням після нанесення відновлювальних покриттів.

Точність розмірів і форми забезпечують вибором технологічних баз і орієнтуванням заготовки відносно різального інструменту, а також жорсткістю технологічної системи "станок-приспосовування-інструмент-деталь". Геометричні параметри деталі можуть бути відновлені і пластичним деформуванням.

Корозійну стійкість деталей відновлюють нанесенням захисних покриттів (металевих, лакофарбових або композиційних на полімерній основі).

Втомну міцність деталей, що сприймають циклічні навантаження, відновлюють способом поверхневої або об'ємної пластичної деформації (наклепом).

Завершальною стадією процесу відновлення деталей являється контроль геометричних параметрів і фізико-механічних властивостей, який полягає у встановленні відповідності усіх параметрів відновленої деталі вимогам технічної документації.

1.7. Класифікація способів відновлення деталей

Методи відновлення посадки. В результаті зношення відбувається зміна розмірів і геометричної форми деталей, що призводить до зміни посадки пов'язаних деталей і, як наслідок, до порушення роботоздатності з'єднання.

Для повного відновлення роботоздатності зношених деталей необхідно повернути їм початкові розміри, геометричну форму і розташування поверхонь, а також фізико-механічні властивості матеріалу.

Відновлення початкової посадки зв'язаних деталей можна здійснити двома методами:

- ◆ шляхом відновлення розмірів деталей до їх номінального значення;
- ◆ шляхом зміни початкових (номінальних) розмірів деталей.

Перший метод заснований на застосуванні різних способів нарощування потрібної товщини металу на зношені поверхні деталей або його деформації з наступною механічною обробкою поверхні під номінальний розмір. Нанесення металопокриттів здійснюється різними способами наплавлення, електрохімічними і хімічними покриттями, напиленням. При цьому методі повністю відновлюються взаємозамінність деталей і посадка з'єднань.

При *другому методі* відновлюється тільки посадка з'єднання, при цьому основна деталь з'єднання набуває правильну геометричну форму і новий ремонтний розмір, а деталь, що з'єднується, замінюється новою. При цьому методі взаємозамінність забезпечується лише частково, в межах тільки даного ремонтного розміру, а при вільних ремонтних розмірах зовсім порушується.

Сучасне авторемонтне виробництво має в розпорядженні велику кількість різних способів повного відновлення роботоздатності деталей, які не лише до-

зволяють повернути їм геометричні параметри і фізико-механічні властивості, але у ряді випадків поліпшити їх.

Виходячи з умов використання додаткових матеріалів і енергоресурсів, ремонтні заготовки отримують з вкладанням або без вкладення матеріалів в початковій заготовки.

Способи створення ремонтних заготовок. Класифікація способів створення ремонтних заготовок (способів відновлення) приведена на рис. 1.3.

Найбільш широке застосування при відновленні автомобільних деталей отримали різні види *слюсарно-механічної обробки*. До них відносяться: власне слюсарна обробка при підготовці деталей до нанесення покриттів і обробка після їх нанесення, обробка деталей під ремонтний розмір, установка ДРД, що забезпечує відновлення зношених поверхонь до номінального розміру.

Пластичне деформування, як спосіб відновлення деталей, заснована на використанні пластичних властивостей матеріалу. Спосіб застосовується з метою відновлення не лише розмірів зношених поверхонь за рахунок перерозподілу металу самої деталі, але також форми і фізико-механічних властивостей деталей. Залежно від конструктивно-технологічних особливостей деталей застосовують наступні види процесу: осадження, роздавання, обтиснення, витягання, накотування, правка та ін.

Зварювання і наплавлення є одним з поширених способів відновлення деталей. На авторемонтних підприємствах застосовують як ручні, так і механізовані способи зварювання і наплавлення, які займають до 80 % загального об'єму наплавлювальних робіт. Із механізованих способів наплавлення найбільше практичне застосування знайшли: автоматичне електродугове наплавлення під флюсом, наплавлення в середовищі захисних газів, вібродугове і плазмове наплавлення. До перспективних способів відновлення деталей можна віднести такі способи наплавлення як лазерне, плазмове та електромагнітне, наморожування.

Напилення. Суть способу відновлення деталей заключається в нанесенні розпорошеного металу на зношені поверхні деталей. Залежно від способу нагріву металу розрізняють наступні види напилення: електродугове, газоплазмове, індукційне, плазмове, детонаційне.

Застосування електрохімічних і хімічних покриттів при відновленні деталей засноване на осадженні металу на поверхні деталі з розчинів солей електрохімічним або хімічним методом. Електрохімічні і хімічні покриття застосовують при відновленні зношених поверхонь деталей, а також для захисту їх від корозії. З метою відновлення зношених деталей найбільш широке застосування отримали хромування, залізнення, хімічне нікелювання. Для захисту деталей від корозії застосовують наступні електрохімічні процеси: хромування, нікелювання, цинкування, кадміювання, а також хімічні процеси оксидування і фосфатування.

Спаювання в авторемонтному виробництві застосовується в основному при відновленні герметичності і усуненні механічних пошкоджень деталей системи живлення і охолодження (трубопроводів, радіаторів та ін.).

Електрофізичні способи застосовують не лише для відновлення зношених поверхонь, але і для зміцнення деталей за рахунок підвищення їх фізико-механічних властивостей.



Рис.1.3. Класифікація способів відновлення деталей

2 Відновлення деталей слюсарно-механічною обробкою

2.1. Вибір обладнання

У авторемонтному виробництві слюсарно-механічна обробка застосовується як самостійний спосіб відновлення деталей, а також як операції, пов'язані з підготовкою або остаточною обробкою деталей, відновлюваних іншими способами.

Більшість деталей отримує свою остаточну форму і розміри обробкою заготовок різноманітними різальними інструментами на металорізальних верстатах.

Металорізальним верстатом називається машина, яка призначена для обробки заготовок певної форми відповідно до креслення деталі зняттям стружки. Обробка здійснюється переважно різанням лезовим або абразивним інструментом. Металорізальні верстати класифікуються за різними ознаками.

За ступенем універсальності металорізальні верстати діляться на наступні групи.

1. Універсальні або загального призначення, на яких виконують різноманітні операції обробки деталей широкої номенклатури в індивідуальному та дрібносерійному виробництвах, а також використовують при ремонтних роботах. Верстати для особливо широкого діапазону робіт називають широкоуніверсальними.

2. Спеціалізовані верстати призначені для обробки однотипних деталей порівняно вузької номенклатури. Прикладом можуть бути токарні верстати для обробки колінчастих валів або шліфувальні верстати для обробки кілець кулькових підшипників. Спеціалізовані верстати відрізняються високим ступенем автоматизації і їх використовують у великосерійному виробництві при великих партіях, що вимагають нечастого переналагодження.

3. Спеціальні верстати використовують для продуктивної обробки деталей одного типорозміру або декількох майже однакових деталей в умовах масового виробництва. Це верстати з високим ступенем автоматизації.

За ступенем автоматизації верстати діляться на автомати, напівавтомати та неавтоматизовані.

Автоматом називають такий верстат, на якому після налагодження усі рухи, що необхідні для виконання циклу обробки, в тому числі завантаження заготовок і розвантаження оброблених деталей, автоматизовані. Робітник повинен лише поповнювати запас заготовок в магазині (бункері) та періодично контролювати розміри оброблених деталей.

Цикл роботи напівавтомата виконується також автоматично, за винятком завантаження-розвантаження, які виконує робітник. Він же здійснює пуск напівавтомата після завантаження наступної заготовки.

З метою комплексної автоматизації у великосерійному і масовому виробництві створюють автоматичні лінії та комплекси, що об'єднують різні автомати, а для дрібносерійного виробництва — гнучкі виробничі модулі та системи.

Автоматизація дрібносерійного виробництва деталей досягається застосуванням верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК).

За ступенем точності верстати діляться на класи:

Н – нормальної точності;

П – підвищеної точності;

В – високої точності;

А – особливо високої точності (прецизійні);

С – надвисокої точності (майстер-верстати).

Верстати класів В, А, С експлуатуються у спеціальних термоконстантних приміщеннях, в яких автоматично підтримується стала температура та вологість повітря.

За масою верстати діляться на:

легкі – до 1 т;

середні – до 10 т;

великі – до 30 т;

важкі – до 100 т;

надважкі (унікальні) – більші ніж 100 т.

За групами (рис. 2.4).

1. Група токарних верстатів (поз. 1—6) складається з верстатів, призначених для обробки поверхонь обертання. Об'єднуючою ознакою верстатів цієї групи є використання обертального руху у якості руху різання заготовки.

2. Група свердлильних та розточувальних верстатів (поз. 7—10) включає свердлильні і розточувальні верстати. Об'єднуючою ознакою цієї групи верстатів є обробка круглих отворів. Рухом різання служить обертальний рух інструмента, якому, як правило, надається також рух подачі. У горизонтально-розточувальних верстатах подача може здійснюватися переміщенням столу з оброблюваною деталлю.

3. Група шліфувальних, полірувальних, викінчувальних, заточувальних верстатів (поз. 20—24) поєднується по ознаці використання у якості різального інструменту абразивних шліфувальних інструментів.

4. Група комбінованих верстатів, що поєднується за ознакою використання електро-фізико-хімічних методів обробки.

5. Група зубо – та різобробних верстатів включає усі верстати, що служать для обробки зубців коліс і різей, у тому числі шліфувальні.

6. Група фрезерних верстатів (поз. 11—14) складається з верстатів, що використовують багатолезові інструменти — фрези.

7. Для групи стругальних і довбальних верстатів (поз. 15—17) загальною ознакою є використання прямолінійного зворотньо-поступального руху різця відносно оброблюваної деталі.

Група протяжних верстатів (поз. 18 і 19) використовує протяжки – спеціальний багатолезовий інструмент.

8. Група розрізних верстатів включає всі типи верстатів, призначених для розрізування і розпилювання катаних матеріалів (прутків, швелерів і т.п.).

9. Група різних і допоміжних верстатів поєднує усі верстати, що не відносяться ні до однієї з перерахованих вище груп.

Нульова група являється резервною.

Парк верстатів сучасного виробництва різноманітний. Для зручності класифікації кожному верстату присвоюється шифр (індекс). Індексатор базується на десятковій системі позначення, тому верстати діляться на десять груп, яким надані номери від 0 до 9.

Типам верстатів в межах кожної групи також присвоєні номери від 0 до 9. Умовне позначення моделі верстата складається з трьох або чотирьох цифр, інколи з додатком літер, які позначають додаткову характеристику верстату. Перша цифра вказує групу, друга – тип, третя і четверта характеризують один з найважливіших розмірів верстату, оброблюваної деталі або інструменту. Літера, якщо вона знаходиться між цифрами, вказує на модернізацію верстату. Літера, написана після усіх цифр, означає модифікацію (видозміну) базової моделі або клас точності верстату. Наприклад, позначення верстату 2Н135: 2 – група свердлильних верстатів, Н – модернізований, 1 – вертикальний, 35 – максимальний діаметр свердління. Верстат 16К20П : 1 – токарний верстат, 6 – гвинторізний, К – модернізований, 20 – висота центрів 20 см, П – підвищеної точності.

Кожен металорізальний верстат має багато робочих органів, яким надаються рухи, що визначаються призначенням верстату і характером робіт, які на ньому виконуються. Такими робочими органами є шпинделі, супорти, столи, інструментальні голівки, полозки, каретки та ін.

Для того щоб отримати деталь потрібної форми і розмірів із заготовки в процесі її обробки на металорізальному верстаті знімають припуск у вигляді остружка. Форма обробленої поверхні залежить від рухів, які надає верстат заготовці і інструменту, узгодження цих рухів і виду різального інструменту.

Процес зняття остружка виконується на верстаті робочими рухами (рухами формоутворення). Робочими рухами верстата є головний рух (рух різання), який відбувається з найбільшою швидкістю, що дорівнює швидкості зняття остружка із заготовки. Рух подачі відбувається зі значно меншою швидкістю. Він дає змогу поширити процес різання на всю поверхню заготовки, що оброблюється. Головний рух може бути обертальний (в токарних, свердлильних, фрезерних та інших верстатах) і поступально-зворотній (в стругальних, довбальних, протяжних та інших верстатах). Головний рух надається інструменту, наприклад, у фрезерних, свердлильних, поперечно-стругальних верстатах або заготовці в токарних, повздовжньо-стругальних. Рух подачі надається інструменту в токарних, свердлильних і повздовжньо-стругальних верстатах, а заготовці – у шліфувальних, фрезерних, поперечно-стругальних та інших верстатах.

Окрім робочих рухів у верстатах існують рухи, мета яких підготувати процес різання. До них відносяться рухи: підведення і відведення інструменту, вмикання, вимикання, перемикавання швидкостей і подачі і т.д.

Робочі рухи виконуються завжди механічно, лише як виняток, у легких верстатах рух подачі виконується вручну (наприклад, в настільно-свердлильних).

Допоміжні рухи в неавтоматизованих верстатах виконуються часто вручну.

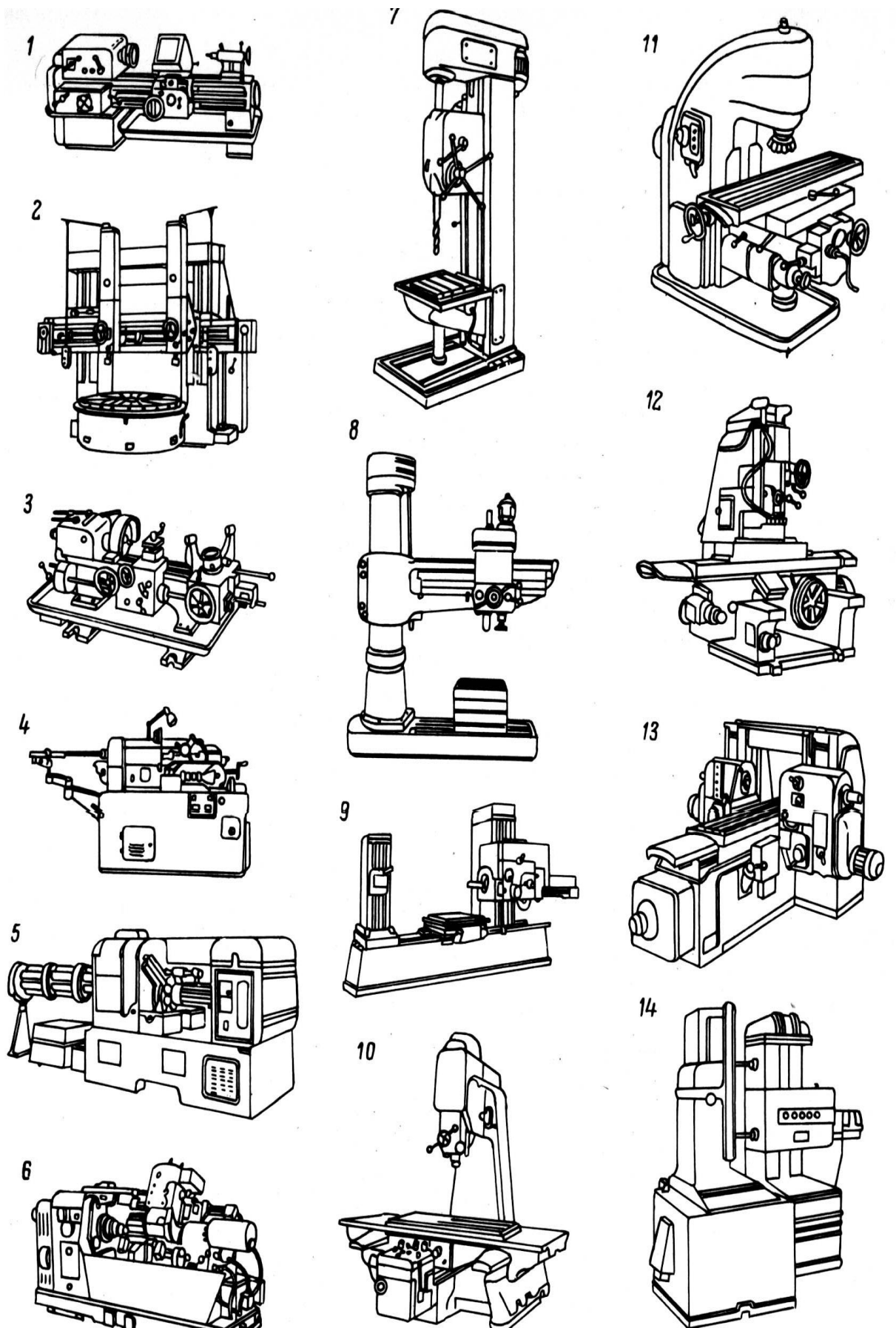
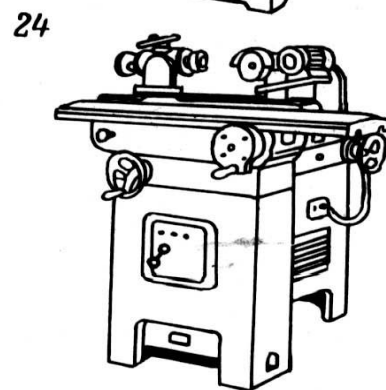
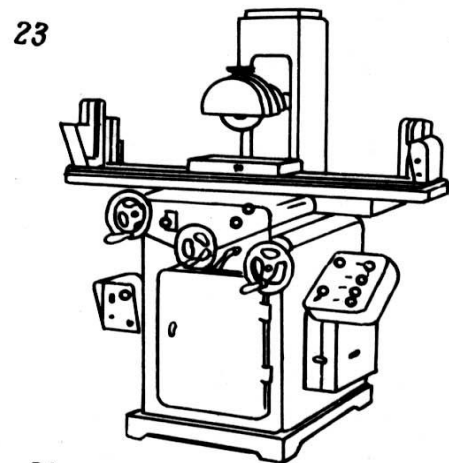
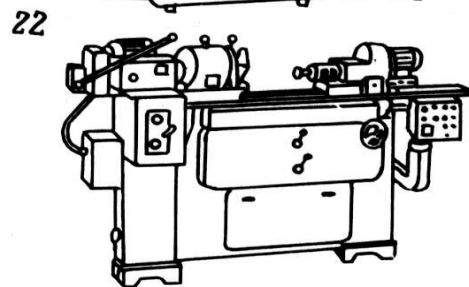
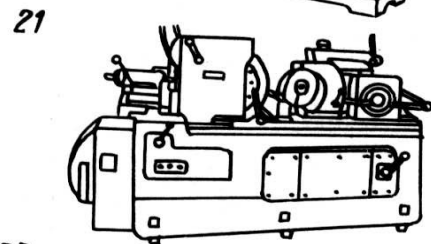
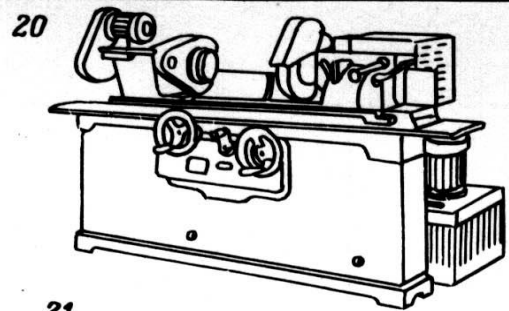
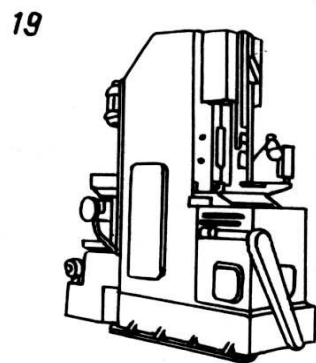
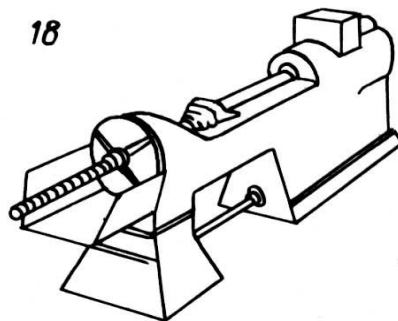
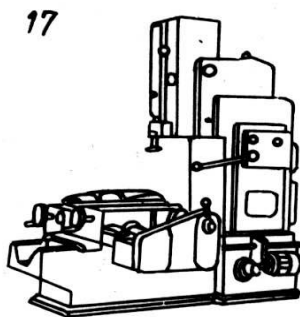
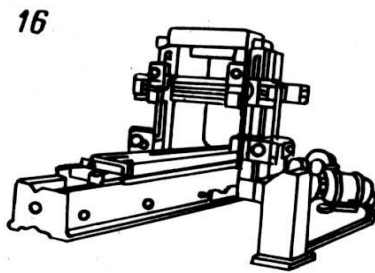
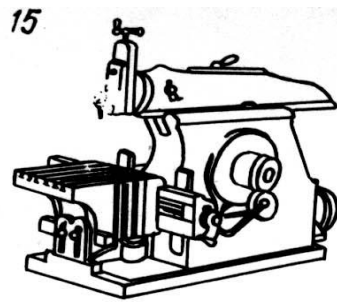


Рис. 2.4. Групи верстатів

Продовження рисунка 2.4



2.2. Інструментальні матеріали

Обробка на металорізальних верстатах здійснюється різноманітними інструментами. Роботоздатність різального інструменту може бути забезпечена лише за умов, коли його робоча частина має такі властивості.

1). *Твердість*. Для здійснення процесу обробки твердість інструменту повинна бути приблизно в півтора-два рази вищою, ніж твердість заготовки. Найнижчу твердість мають вуглецеві інструментальні сталі. Твердість інструментальних вуглецевих сталей HRC 61...64, швидкорізальних сталей HRC 62...69. Тверді сплави мають твердість HRA 88...92, мінералокераміка – HRA 92...95. Найтвердіший інструментальний матеріал – алмаз.

2). *Міцність*. В процесі різання робоча частина інструмента перебуває в складному напруженому стані (стискання, розтягування, кручення, зсуву), тому висувують вимоги щодо міцності на стискання та на згин. Важливе їх оптимальне співвідношення. Швидкорізальні сталі мають найкращі показники міцності. Дещо меншу міцність на згин мають тверді сплави. Ще меншу міцність має мінералокераміка. Найменша міцність на згин у алмаза. Міцність визначає подачу інструмента на зуб (оберт) – чим більша міцність, тим більша подача.

Чим менша міцність інструментальних сталей, тим приймають більшим значення переднього кута у інструмента, що збільшує сили різання та деформацію металу.

3). *Температуростійкість (червоностійкість)* – здатність матеріалу інструменту зберігати свої механічні властивості під дією високих температур. Найвищу температуростійкість має мінералокераміка, кубічний нітрид бору, тверді сплави, швидкорізальні сталі. Температуростійкість матеріалу визначає продуктивність обробки. Найнижчу продуктивність обробки мають вуглецеві та леговані сталі ($V_{\text{різ}} = 20...30$ м/хв.).

4). *Теплопровідність*. Температура в зоні різання в ряді випадків може бути знижена завдяки відтоку тепла від головного різального леза та передньої площини, тому матеріал повинен мати добру теплопровідність. Теплопровідність інструментального матеріалу залежить від вмісту вольфраму, ванадію та кобальту. Всі названі метали дуже дефіцитні.

4). *Коефіцієнт тертя*. Матеріал різальної частини інструмента працює в умовах сухого тертя інструментального матеріалу по оброблюваному. Коефіцієнт тертя залежить від хімічного складу матеріалів заготовки та інструменту. Чим краще ковзання інструменту по заготовці, тим менший коефіцієнт тертя.

5). *Зносостійкість* – здатність матеріалу інструментау протидіяти витранню матеріалу заготовки.

Зносостійкість оцінюється інтенсивністю зносу $I = \frac{m}{L}$,

де m – маса продукту зносу, мг,

L – ширина контакту, мм.

6). *Ударна в'язкість* – здатність матеріалу інструменту витримувати ударні навантаження без руйнування.

Інструментальні матеріали поділяються на наступні класи:

1. *Вуглецеві інструментальні сталі.* Вони допускають невисокі швидкості різання (до 15 м/хв), внаслідок невисокої теплостійкості. Через це їх основне призначення – ручний інструмент, свердла невеликого діаметру, плашки, мітчики, протяжки, напилки.

Інструментальні вуглецеві сталі позначаються літерою У, за нею іде цифра, що характеризує вміст вуглецю в сталі в десятих долях відсотка. Так, в сталі марки У10 вміст вуглецю складає біля 1%. Літера А в кінці позначення відповідає високоякісним сталям.

2. *Леговані інструментальні сталі.*

У легованих інструментальних сталях легівні елементи покращують властивості сталі.

Хром підвищує зносостійкість, та покращує твердість.

Кремній сприяє більш рівномірному розподіленню карбідів, використовується для інструментів з тонкими різальними лезами.

Ванадій утворює стійкі тверді карбіди, сприяє отриманню дрібнозернистої структури, через це сталі мають високу зносостійкість, міцність та низьку оброблюваність шліфуванням.

Кобальт підвищує міцність, температуропровідність, хімічну активність легівних елементів, збільшує червоність. Використання кобальту необхідно економічно обґрунтувати.

Інструментальні леговані сталі позначаються цифрою, що характеризує вміст вуглецю в десятих долях відсотка (якщо цифра відсутня, вміст вуглецю 1%), за якою слідує літери, що відповідають легівним елементам (Г – марганець, Х – хром, С – кремній, В – вольфрам, Ф – ванадій, Н – нікель), і цифри, що позначають вміст елемента в процентах.

3. *Швидкорізальні інструментальні сталі*

Швидкорізальні інструментальні матеріали містять більшу кількість карбідоутворюючих елементів (вольфрам, молібден, ванадій і ін.).

Швидкорізальні сталі за рівнем теплостійкості підрозділяють на наступні групи:

1. Нормальної продуктивності:

- ✓ вольфрамові Р18, Р12, Р9;
- ✓ вольфрамо-молібденові Р6М5, Р9М4, Р6М3.

2. Підвищеної продуктивності:

- ✓ ванадієві Р9Ф5, Р14Ф4, Р18Ф2;
- ✓ кобальтові Р9К5, Р9К10, Р18К10Ф2.

Вольфрамові сталі через високий вміст вольфраму у даний час не застосовують. Вольфрамо-молібденові сталі мають достатню міцність і пластичність. Вони одержали найбільше поширення при виготовленні складних зубообробних і різеобробних інструментів.

Кобальт, на противагу вольфраму і ряду інших металів, карбідів не утворює. Однак, він підвищує міцність і червоність, маючи високу теплопровідність. Тому кобальтові сталі більш теплопровідні, чим вольфрамові, краще шліфуються. Їхній недолік – знижена в порівнянні з вольфрамовими механічна

міцність. У порівнянні зі сталями нормальної теплостійкості кобальтові сталі допускають більш високі швидкості різання, однак, інструмент із них повинен працювати при малих перетинах зрізу, тобто вони допускають меншу подачу.

Сталь Р18 застосовується для обробки м'яких і середньої твердості матеріалів.

Сталь Р9 через низьку оброблюваність шліфуванням застосовується для інструментів обмеженої точності, де об'єм шліфувальних робіт обмежений.

Сталь Р18Ф2 застосовується для обробки матеріалів різної твердості, у тому числі нержавіючих і жароміцних сплавів.

Сталь Р9К5, Р9К10, Р18К5Ф2, Р10К5Ф5 використовують в інструментах, що нагріваються в процесі роботи до високих температур, для обробки нержавіючих і жароміцних сплавів.

Сталь Р9Ф5 знайшла застосування в інструментах, якими виконують окремі операції при невеликих перетинах стружки і без сильного нагрівання інструменту. Нею обробляють матеріали, що володіють абразивними властивостями, жароміцні сплави і сплави на основі титана.

Швидкорізальні сталі позначаються літерами, що відповідають карбідоутворюючим і легуючим елементам (Р – вольфрам, М – молібден, Ф – ванадій, А – азот, К – кобальт, Т – титан, Ц – цирконій). За літерою йде цифра, що позначає середній вміст елемента у відсотках (вміст хрому біля 4% в позначенні не вказується). Вміст азоту вказується в сотих долях відсотка. Цифра, що стоїть на початку позначення сталі вказує на вміст вуглецю в десятих долях відсотка. Якщо цифра відсутня, вміст вуглецю 1%.

4. Тверді сплави

Тверді сплави одержали широке поширення завдяки високій швидкості різання, приблизно в 5 разів вищій, ніж в інструменту із швидкорізальної сталі. Червоність цих матеріалів досягає 870–1000 С°. Тверді сплави виготовляють при високих температурах спіканням пластифікованого порошку карбідів, що при цьому змінює свій об'єм, зменшуючись приблизно на 50%. Склад твердих сплавів – карбіди вольфраму, титану, танталу, зцементовані кобальтом. Чим менше кобальту в сплаві, тим менша його в'язкість. Такі матеріали застосовують для невеликих перетинів зрізу, тобто для чистових робіт.

Тверді сплави класифікують на дві великі групи: що містять вольфрам, і на безвольфрамкові тверді сплави.

Сплави, що містять вольфрам в свою чергу поділяються на:

- ✓ вольфрамкові (однокарбідні) – ВК15;
- ✓ титанові (двохкарбідні) – Т15К6, Т30К4;
- ✓ титано-танталові (трьохкарбідні) ТТ7К12, ТТ8К10, ТТ9К12.

Тверді сплави групи ВК найбільш міцні але разом з тим менш тепло - і зносостійкі. Їх використовують при обробці чавунів, кольорових металів і їхніх сплавів, нержавіючих і жароміцних сталей, загартованих сталей і при переривчастому різанні.

Тверді сплави групи ТК у порівнянні зі сплавами групи ВК більш зносостійкі але менш міцні. Істотною перевагою є більша відсутність схильності до

злипання. Їх застосовують для обробки пластичних матеріалів – вуглецевих і низьколегованих конструкційних сталей.

Тверді сплави групи ТТК по застосовуваності є універсальними. Їх використовують при обробці сталей і чавунів. Основна область застосування – різання з дуже великими перетинами зрізу, чорнова обробка й обробка з ударами.

Чим важчі умови роботи в силовому відношенні (чорнова обробка), тим більше кобальту повинен містити сплав, чим легше режим (чистова обробка), тим більше повинно бути карбідів (вольфраму, титану, танталу).

Класифікація твердих сплавів по зернистості:

Розрізняють чотири групи твердих сплавів:

- ✓ грубозернисті – зерна карбідів 3–5 мкм (BK8B, T15K6B);
- ✓ середньозернисті – зерна карбідів 1,5–3 мкм (BK8, T15K6, літера в позначенні не вказується);
- ✓ дрібнозернисті – зерна карбідів 0,5–1,5 мкм (BK8M, T15K6M);
- ✓ особливо дрібнозернисті – зерна карбідів 0,5–1,0 мкм (BK8OM, T15K6OM).

Дослідженнями встановлено, що властивості твердого сплаву залежать не тільки від хімічного складу, але і від структури (від величини зерен карбідів вольфраму).

Зі збільшенням розміру зерен міцність сплаву підвищується, а зносостійкість знижується.

Це дозволило створити сплави з високими зносостійкістю і задовільною міцністю:

BK6OM для чистової обробки нержавіючих сталей, титанових сплавів і чавуна;

BK15OM, BK10OM, BK15XOM – для напівчистової і чорнової обробки тих же матеріалів.

Класифікація твердих сплавів по області застосування.

Міжнародними стандартами ISO виділено три групи тврдосплавного різального інструменту.

P – для обробки вуглецевих і середньолегованих сталей і сталевого лиття, незагартованих інструментальних сталей, різання яких супроводжується появою зливної стружки. Позначаються цифрою 1 або смугою синього кольору.

M – для обробки високолегованих тепло і жаростійких сталей, високомаганцевих і нержавіючих сталей аустенітного класу, ковких легованих чавунів, титанових і нікелевих сплавів. Позначаються цифрою 2 або смугою жовтого кольору.

K – для обробки сірих і вибілених чавунів, що дають стружку надлому, для різання загартованих сталей, кольорових металів, сплавів, пластмас, склопластиків, бетону і деревини. Позначаються цифрою 3 або смугою червоного кольору.

Кожна область розбита на групи виходячи з типу операцій. Групи позначаються цифрами від 01 до 50. Найбільш часто зустрічаються 01, 05, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, але можливі і проміжні значення. Малі індекси відповідають чистовим операціям, коли від твердого сплаву потрібна висока зносостій-

кість і мала міцність. Великі індекси відповідають чорновим операціям. Тому кожна марка твердого сплаву має свою область застосування.

Оскільки границі груп встановлені орієнтовно, то та сама марка твердого сплаву може добре працювати в двох або трьох групах або навіть різних областях.

Окрім трьох вказаних груп випускаються також різальні пластини із спеціальних сплавів – це сплави групи MC. Виготовляють їх за технологією шведської фірми «Сандвік Коромант». Характеризуються високою стабільністю різальних властивостей. Завдяки цьому їх рекомендується застосовувати на верстатах з ЧПК.

MC – це трьохкарбідні тверді сплави (ТТК), однак у них карбіди танталу замінені карбідами ніобію.

Позначення сплаву складається із букв MC і трьохзначного (для пластин без покриття) чи чотирьохзначного (для пластин з покриттям карбідом титана) числа: 1-а цифра відповідає області застосування по ISO; 2-а і 3-я характеристика підгрупи застосування, 4-а – наявність покриття.

Велика номенклатура твердих сплавів дозволяє підібрати кілька марок для будь-якої групи застосування. Перевагу варто віддавати найбільш міцним і дешевим матеріалам.

Нанесення зносостійких покриттів дозволяє одержати одночасно зносостійкі і міцні інструментальні матеріали. Як матрицю під покриття беруть міцні марки твердих сплавів із дрібнозернистою структурою. Це можуть бути або стандартні марки твердих сплавів або спеціальні твердосплавні основи. Як покриття використовують Ti, TiCN. Будучи хімічно інертними до сталей, вони забезпечують твердим сплавам високу зносостійкість.

Розрізняють сплави з одношаровими і багатошаровими покриттями.

У сплавів з одношаровими покриттями наносять шар товщиною 5–12 мкм (звичайно золотавого кольору). Багатошарові покриття більш прогресивні і являють собою композицію Ti+TiCN+Ti, тому що Ti щонайкраще схоплюється з матрицею, а найбільшу надійність роботи забезпечують зовнішні шари з TiCN+Ti. Загальна товщина покриття 8–15 мкм.

Недоцільно застосовувати пластини при роботі з ударом, при різанні титанових сплавів, жароміцних сталей, металів з ливарною кіркою.

В безвольфрамових твердих сплавах карбід вольфраму замінений карбідом або карбонітридом титану, а для зв'язування замість кобальту використовують нікель і молібден. Безвольфрамові тверді сталі відрізняються зниженою схильністю до злипання. Однак, їм властиві схильність до тріщиноутворення, погана робота при ударних навантаженнях. Застосовують при чистовій і напівчистовій обробці для різання конструкційних і низьколегованих сталей, кольорових металів і їхніх сплавів. Марки: TH20, KHT16, TM3.

Так як безвольфрамові тверді сплави не містять дефіцитних елементів, то їм необхідно віддавати перевагу і використовувати замість твердих сплавів на основі карбідів вольфраму.

В залежності від складу карбідної фази і зв'язки, позначення твердих сплавів містить літери, що характеризують карбідоутворюючі елементи (В – вольфрам, Т – титан, друга буква Т – тантал і зв'язка кобальт – літера К).

Відсоток карбідоутворюючих елементів в однокарбідних сплавах, що містять тільки карбід вольфраму, визначається різницею між 100% і масовою частиною зв'язки (цифра після літери К), наприклад сплав ВК4 містить 4% кобальту і 96% WC.

У двохкарбідних сплавах WC+ TiC цифрою після літери карбідоутворюючого елемента визначається масова частка карбідів цього елемента, наступна цифра – масова частка зв'язки, решта – масова частка карбідів вольфраму (наприклад Т5К10 містить 5% TiC, 10% Co і 85% WC).

В трьохкарбідних сплавах цифра після літери Т означає частку карбідів титану і танталу. Цифра за літерою К – масову частку зв'язки, решта – карбід вольфраму (наприклад, сплав ТТ8К6 містить 6% кобальту, 8% карбідів титану і танталу і 86% карбиду вольфраму).

5. Мінералокераміка та кермети.

Мінералокераміка виготовляється на основі Al_2O_3 методом пресування під великим тиском. Основною перевагою її є висока теплостійкість (~1200°C), що дозволяє інструменту працювати при більш високих швидкостях різання в порівнянні з твердосплавним. Крім того, її вартість значно нижче, тому що вихідним продуктом для її одержання є глинозем. Твердість різальної кераміки вища чим у твердих сплавах, при цьому злипання зі стружкою не відбувається через хімічне розходження між інструментальним і оброблюваним матеріалами.

Керметами називаються сплави Al_2O_3 з карбідами, нітридами і іншими сполуками.

Істотний недолік мінералокераміки та керметів – велика крихкість, знижена міцність. Застосовують тільки при чистовій і напівчистовій обробці сталей, чавуну, міді і її сплавів при відсутності ударного і циклічного температурного навантаження.

Розрізняють чотири групи мінералокераміки:

1. Оксидна (чиста або біла) – складається з Al_2O_3 і невеликої кількості легівних домішок окисів магнію і цинку. Міцність найменша, але теплостійкість і твердість найвищі – ЦМ 332, ВШ75. З метою підвищення міцності оксидної кераміки її легують карбідами або нітридами титана.

2. Оксидно-карбідна (змішана, металева чорна) – складається з Al_2O_3 , окисів магнію і цинку і 20–40% Ti. Найбільш поширені ВОК 60, ВОК 63.

3. Оксидно-нітридна (кортинид) – складається з Al_2O_3 , окисів магнію і цинку і 20–40% Ti – ОНТ 20.

4. На основі нітриду кремнію Si_3O_4 (силініт-р).

Оксидна кераміка використовується для чистового та напівчистового точення сирих та незагартованих сталей, сирих чавунів з великими швидкостями різання.

Оксидно-карбідна та оксидно-нітридна кераміка – для напівчистої обробки ковких відбілених чавунів, загартованих сталей, кольорових металів та сплавів на основі міді.

Нітридна кераміка призначена для чистої обробки чавунів.

б. Надтверді матеріали.

До надтвердих матеріалів (НТМ) відносять алмази та кубічний нітрид бору (КНБ).

Твердіть НТМ вища за твердіть інших матеріалів. У надтвердих матеріалів вона вимірюється за шкалою Вікерса.

Механічні властивості алмазів: анізотропні, хімічно активні з залізом, червоностійкість порядку 600°–700°С.

НТМ виготовляють на основі синтетичних алмазів (АС):

АСПК – алмаз синтетичний карбонадо;

АСПБ – алмаз синтетичний балас.

Алмаз найтвердіший інструментальний матеріал Його мікротвердість за шкалою Вікерса в 4,5 рази вища порівняно з твердими сплавами. Алмази мають високу теплопровідність, яка значно перевищує теплопровідність кольорових матеріалів, що сприяє швидкому відтоку тепла з зони різання. Малі значення коефіцієнтів тертя та об'ємного розширення, радіусів заокруглення різальних лез дозволяють проводити точну розмірну обробку.

Недоліки: анізотропність, низька міцність, підвищена хрупкість (через неї від'ємні значення передніх кутів), низька стійкість при високих температурах.

Розподіляють за міцністю на 5 класів:

О – звичайний;

Р – підвищені властивості;

В – високі властивості;

С – сортований, (найкращий);

К – кристалічний.

КНБ (кубічний нітрид бору) вперше був отриманий в 1960 році з нітриду бору – хімічного елементу, що є подібним до графіту. В теперішній час синтезований на Україні в ІНМ ім. В.М.Бакуля (м. Київ). Технологія його виготовлення схожа з отриманням АС, але на відміну від алмазів кришталева гратка заповнена різними атомами: азоту та бору. Твердість трохи нижча від алмазів (на 20%), але червоностійкість приблизно в 2 рази вища. КНБ в хімічному плані більш інертний до інших матеріалів.

Освоєно випуск особливо великих полікристалічних утворень ПКНБ діаметром 5–6 мм і висотою 7–8 мм. Це дає можливість обладнати КНБ різці та навіть фрези для обробки високоміцних чавунів та загартованих сталей. Успішним є використання КНБ для шліфування сталей та чавунів.

Використання:

композит 01, 02 – для чистового точіння загартованих сталей, сірого та високоміцного чавуну;

композит 05 – точіння без удару чавунів будь-якої твердості;

композит 10 – точіння з ударом, торцеве фрезерування сталей та чавунів будь-якої твердості, твердих сплавів, тощо.

2.3. Абразивні матеріали.

Одним із ефективних методів обробки поверхонь деталей являється абразивна обробка. Абразивна обробка єдиний можливий спосіб обробки сучасних інструментальних матеріалів – твердих сплавів, мінералокераміки, надтвердих матеріалів. Парк верстатів для абразивної обробки досягає 20% загального верстатного парку, а в підшипниковій і деяких інших галузях промисловості – 60% і більше. Розвитку абразивної обробки посприяло створення нових абразивних матеріалів і нових зв'язок, вдосконалення технології отримання абразивних матеріалів та інструментів із них, створення нових методів обробки.

Абразивні матеріали являються матеріалами підвищеної твердості, що застосовуються в масивному і подрібненому стані для механічної обробки.

Абразивні матеріали можуть бути як природного так і штучного походження.

До природних матеріалів відносять природний алмаз, корунд, наждак, кварцовий пісок, гранат, кремій.

Алмаз природний складається із чистого вуглецю з невеликою кількістю домішок. В промисловості використовують технічний алмаз. Алмази характеризуються високою твердістю, теплопровідністю, високим модулем пружності, малими коефіцієнтами лінійного й об'ємного розширення, високою зносостійкістю. Разом з тим вони крихкі, анізотропні (міцність кристала в різних напрямках змінюється до 500 разів). При температурі більшій 700-800 °С переходить в графіт. Позначається літерою А.

Корунд складається із модифікації Al_2O_3 . Область застосування – для обробки металу і скла вільними зернами, в меншій мірі для виробництва шліфувальних кругів і брусків для хонінгування.

Наждак містить близько 10–30% корунду. Область застосування така ж, як і у корунду.

Кремій являється природним матеріалом, що містить кварц. Для абразивного виробництва використовують кремій, який містить не менше 92% SiO_2 , не більше 2% CaO і не більше 4% глинистих матеріалів.

До штучних матеріалів відносять синтетичний алмаз, ельбор, електрокорунди, карбід кремнію, карбід бору.

Алмаз синтетичний – абразивний матеріал, який отримують із графіту при високому тиску і температурі. По фізичним властивостям ідентичний природному. Позначається: АС – алмаз синтетичний, АР – алмаз синтетичний полікристалічний.

Ельбор – синтетичний матеріал на основі кубічного нітриду бора. Характеризується високою твердістю, теплостійкістю, зносостійкістю, високим модулем пружності, низьким коефіцієнтом лінійного розширення, хімічною стійкістю до дії кислот, лугів, інертністю до заліза. Позначається літерою Л.

Електрокорунд – штучний корунд, який випускається у вигляді кількох різновидів.

1. Нормальний електрокорунд вміщує 93–95% корунду, решта домішки. Характеризується високою міцністю, в'язкістю. Завдяки цим властивостям ви-

користовується при обдирних операціях. Позначається 12А,...,16А. При збільшенні номери підгрупи різальні властивості покращуються.

2. Електрокорунд білий вміщує 98–99% корунду, решта домішки. Позначається 22А...25А. Забарвлення від білого до світло рожевого. Зерна мають більш високу зносостійкість. Використовується для чистового шліфування загартованих сталей.

3. Леговані електрокорунди. Найбільш широко використовують титанові та хромові електрокорунди.

Електрокорунд титановий позначається 37А. Одержують додаванням в шихту (до 2%) оксиду титану TiO_2 , за рахунок чого покращуються різальні властивості електрокорунду.

Електрокорунд хромовий позначається 32А...34А. Одержують додаванням в шихту перед плавкою до 0,3% оксиду хрому Cr_2O_3 , в результаті чого при плавленні утворюється твердий розчин оксиду хрому в титані. Окрім цього хром присутній в зернах у вільному стані. Зерна мають рожеве та темно-вишневе забарвлення, містять велику кількість монокристалів і мають високу стабільність фізико-механічних властивостей, що покращує їх різальні властивості.

4. Монокорунд. Позначається 43А...45А. Одержують додаванням в шихту перед плавкою сульфїду заліза. Зерна монокорунду мають форму правильних кристалів за рахунок чого покращується міцність та зносостійкість.

Карбід кремнію. У якості початкової сировини використовують кварц та вугілля, які взаємодіють при високих температурах. В залежності від кольору основної маси розрізняють зелений (63С) та чорний (53С...55С) карбід кремнію. Чорний більш міцний ніж карбід кремнію зелений. Використовують для шліфування чавунів, твердих сплавів.

Карбід бору. Він має більш високу твердість ніж карбід кремнію. Проте, разом з тим карбід бору крихкий, а при високій температурі розкладається з виділенням графіту. Тому використання карбіду бору обмежується викінчувальними роботами. Позначається КБ.

Сукупність розчинів, що використовуються для закріплення абразивних зерен в інструменті називається зв'язкою.

Зв'язки бувають:

- 1) неорганічні (мінеральні);
- 2) органічні (смоли, каучук);
- 3) металеві.

Компонентами неорганічних зв'язок є скло, польовий шпат, цемент. *Неорганічні зв'язки бувають:*

- 1) керамічні;
- 2) магнезіальні;
- 3) силікатні.

Керамічні зв'язки позначаються літерою К. В залежності від складу вони діляться на ті, що плавляться (на основі скла), та ті, що спікаються (на основі фарфору, глини). Абразивний інструмент на основі електрокорунду виготовляють із зв'язкою, що плавиться, а інструменти на основі карбіду кремнію – зі зв'язкою, що спікається.

В залежності від вмісту різних компонентів керамічні зв'язки виготовляють різних марок: К1...К8.

Шліфувальні круги із зернами електрокорунду зернистістю 50...16 виготовляють на зв'язці К8, а дрібнозернисті шліфувальні круги зернистістю 12...4 – на зв'язці К7. Круги, що містять зерна білого електрокорунду виготовляють на зв'язці К1 і на боровміщувальній зв'язці К5, що дозволяє підвищити зносостійкість окрайок і профілю круга.

Шліфувальні круги, що містять абразивні зерна карбиду кремнію зернистістю 50...16 виготовляють на зв'язці К3, а дрібнозернисті круги зернистістю 12...4 – на зв'язці К2.

Керамічні зв'язки волого- і температуростійкі, проте досить крихкі і не допускають роботу з ударним навантаженням.

Магnezіальні зв'язки на основі магnezіального цементу, який твердіє на повітрі, та силікатні на основі рідкого скла використовуються порівняно рідко в кругах для обробки в'язких сталей. Обробка проводиться без використання охолоджувальних рідин.

До органічних зв'язок відносять: бакелітові, вулканітові та гліфталеві зв'язки. Основою органічних зв'язок є синтетичні смоли.

Бакелітові зв'язки надають кругам міцності та пластичності. Найбільше розповсюдження одержали бакелітові зв'язки на основі фенол-формальдегідної смоли: пульвербакеліт марок Б та Б1, рідкий бакеліт марки Б2 і спеціальний бакеліт марки Б3. При нагріві до температури вище 200°C бакелітові зв'язки стають крихкими і шліфувальні круги швидко зношуються. При тривалій дії температур порядку 250..300°C бакелітова зв'язка вигорає. На бакелітові зв'язки негативну дію проявляють лужні розчини, тому вода, що використовується для охолодження не повинна містити більше 1,5% соди. Обробка матеріалу проводиться при невеликих швидкостях. Шліфувальні круги на бакелітовій зв'язці стійкі до вологи та мастил, мають значно більшу ударну в'язкість та міцність на стиск, ніж круги на керамічній зв'язці.

Основою вулканітових зв'язок є каучук, в який для здійснення процесу вулканізації додають сірку. Вулканітові зв'язки в залежності від вмісту компонентів виготовляють декількох марок – В1, В2 і В3. Теплостійкість каучуку низька (150..180°C), що обмежує режими шліфування і потребує використання рідин для охолодження. Разом з тим вулканітова зв'язка надає кругам більшої еластичності та можливість, вигинаючись витримувати бокові навантаження. Круги на вулканітовій зв'язці використовують для прорізних та відрізних робіт.

Гліфталеву зв'язку одержують на основі синтетичної смоли із гліцерину та фталевого ангідриду. Шліфувальні круги на гліфталевій зв'язці використовують при чистовому шліфуванні загартованих сталей.

Розрізняють два основних типи *металевих зв'язок* – порошкові та гальванічні.

Порошкові металеві зв'язки одержують спіканням порошоків із мідних та алюмінієвих сплавів. Зв'язки на основі бронзи мають позначення М1. Зв'язки на основі алюмінієво-цинкових сплавів мають загальне позначення М5 і діляться на зв'язки ТМ2, МО13 і МВ1.

Гальванічні зв'язки виконуються на нікелевій основі методом гальванічного закріплення зерен на металевому корпусі.

Характерною рисою металевих зв'язок є висока міцність та незначна пористість. Зв'язка добре утримує абразивні зерна, що протидіє самозаточенню круга. Тому на металевій зв'язці виготовляють лише алмазні та ельборові круги, зерна яких характеризуються високою зносостійкістю.

Алмазні та ельборові круги на металевій зв'язці використовують для попереднього та чистового шліфування твердих і крихких матеріалів, а також для загострення поверхонь лез різальних інструментів.

Шліфувальні круги складаються із абразивних зерен, зв'язки та проміжків між абразивними зернами та зв'язкою. Розміри та щільність розподілення *пор* по об'єму круга має настільки важливе значення, що їх прийнято розглядати третьою складовою структурної будови круга. Від відношення наведених вище структурних складових залежать різальні властивості круга.

В залежності від кількості абразивних зерен в об'ємі шліфувального круга інструмент поділяють на різні класи структур, або, більш точно, на структурні групи. Структура може бути щільною, середньою, відкритою і дуже відкритою. Чим вище номер групи, тим менший відсоток об'єму займають абразивні зерна (орієнтовно на 2%), але більший вміст пор і зв'язки.

Щільна структура (номера структурних груп з 0 до 3) має об'ємний відсоток абразивних зерен 56÷62%, пори малих розмірів, в яких може розміститися невелика кількість стружки. Тому застосування шліфувальних кругів зі щільною структурою обмежене чистовими операціями.

Круги *середньої структури* мають позначення номера групи з 4 до 8, вміщують більш товстий шар зв'язки, який з'єднує зерна в єдиний моноліт. Розміщені між зернами (46–54% об'єму) та зв'язкою пори мають дещо більший розмір для розташування стружки.

Структурна група №4 має зерна великих розмірів, тому її використовують для попереднього шліфування. Структури №5–6 мають менші зерна і використовуються для чистової обробки, а шліфувальні круги зі структурою №7–8 використовують для обробки в'язких матеріалів та фінішного шліфування.

Відкритій структурі відповідають номери груп від 9 до 12. Між абразивними зернами (44–38% об'єму) та зв'язкою розміщені пори, в яких вільно розміщується стружка, яка зрізується за робочий цикл. Використовують такий інструмент для швидкісної обробки.

Дуже відкрита структура (номера від 13 до 20). Часто пори між зернами (25–36% об'єму) заповнюють наповнювачами: вугіллям, гіпсом. Круги використовують для шліфування м'яких та в'язких матеріалів (неметалів, гуми, пластмас, дерева), де необхідне самозаточування круга.

В якості характеристики *структури алмазних та ельборових* кругів використовують концентрацію їх зерен. За 100% концентрації приймається така об'ємна кількість зерен алмазу чи ельбору, які займають $\frac{1}{4}$ об'єму робочої поверхні круга, а решту займають зв'язка, наповнювачі, пори. Круги можуть виконуватися з концентрацією: 25; 50; 75; 100; 150; 200; 250%.

Розміри зерен визначають зернистість абразивних кругів. Абразивні зерна в залежності від розмірів ділять на наступні групи:

- 1) шліфувальні зерна 2000–160 мкм;
- 2) шліфувальні порошки 125–40 мкм;
- 3) мікропорошки 63–14 мкм та тонкі мікропорошки 10–3 мкм.

Твердість абразивних зерен є необхідною умовою для проведення процесу різання. Оцінку твердості алмазних та абразивних зерен можна проводити двома способами:

- 1) нанесенням подряпин;
- 2) вдавлюванням алмазної піраміди.

Твердість шліфувальних кругів характеризує здатність інструменту протидіяти порушенню зв'язку між зернами та зв'язкою.

По твердості абразивні інструменти діляться на :

м'які	(M1,M2,M3);
середньо м'які	(CM1,CM2);
середні	(C1,C2);
середньо тверді	(CT1,CT2,CT3);
тверді	(T1,T2);
дуже тверді	(BT1,BT2);
надзвичайно тверді	(CT1,CT2).

Чим менша твердість абразивних інструментів, тим слабше зчеплення між зернами і зв'язкою, і тим легше окремі зерна під дією зовнішніх сил можуть бути вирвані із різальної поверхні круга. По мірі зростання сил зчеплення між зернами і зв'язкою зростає і протидія руйнуванню під дією зовнішніх сил.

2.4. Нормування верстатних робіт.

Розрахунковий метод

У авторемонтному виробництві найчастіше виконують наступні основні види верстатних робіт: точіння, свердління, фрезерування і шліфування.

Визначення норм часу починають з розрахунку швидкості різання (v , м/хв), яка при точінні дорівнює:

$$v = \frac{C_v}{T^m t^{x_v} S^{y_v}} K,$$

де C_v – коефіцієнт, що залежить від умов роботи інструменту, твердості і міцності матеріалу;

T – стійкість інструменту, хв;

t – глибина різання, мм;

S – подача, мм/об;

m, x_v, y_v – показники степені;

K – коефіцієнт, що характеризує умови процесу обробки.

Частота обертання заготовки (n_3 , хв⁻¹) при точінні:

$$n_3 = \frac{1000v}{\pi d_3},$$

де d_3 – діаметр обробки, мм.
Швидкість різання при свердлінні:

$$v = \frac{C_v D_c^{z_v}}{T^m S^{y_v}},$$

де D_c – діаметр свердління, мм;
 z_v, y_v – показники степені.

Швидкість різання при фрезеруванні:

$$v = \frac{C_v D_\phi^q}{T^m t^{x_v} S_z^{y_v} B_\phi^{p_v} z^{k_v}},$$

де C_v – постійна величина, що залежить від матеріалу, що оброблюється, типу фрези і подачі на один зуб;

D_ϕ – діаметр фрези, мм;
 t – глибина фрезерування, мм;
 S_z – подача на один зуб фрези, мм/зуб;
 B_ϕ – ширина фрезерування, мм;
 q, p_v, k_v – показники степені;
 z – число зубів фрези.

Хвилинна подача при фрезеруванні (S_M , мм/хв), подача на один оберт фрези (S_0 , мм/об) і подача на один зуб фрези (S_z , мм/зуб) зв'язані залежностями:

$$S_M = S_0 n_\phi = S_z z n_\phi,$$

де n_ϕ – частота обертання фрези, хв⁻¹.

Поздовжню подачу на один оберт заготовки, що обробляється, при круглому шліфуванні ($S_{ш}$, мм/об) приймають в долях висоти шліфувального круга:

$$S_{ш} = k_{ш} B_\kappa,$$

де B_κ – висота шліфувального круга, мм;
 $k_{ш}$ – коефіцієнт, що визначає частину висоти шліфувального круга.

Лінійна швидкість (v_3 , м/хв) оброблюємої поверхні заготовки при шліфуванні:

$$v_3 = \frac{C_v d_3^k}{T^m t^{x_v} \beta^{y_v}},$$

де C_v – постійна величина, що залежить від матеріалу, що обробляється, характеристик круга і виду шліфування;

k – показники степені;
 β – коефіцієнт поздовжньої подачі.

Машинний час обробки (t_0 , хв) в більшості випадків визначають за формулою:

$$t_0 = \frac{L}{n_3 S} i,$$

де $L = l + l_1 + l_2 + l_3$ — довжина шляху, пройденого інструментом в напрямку подачі, мм;

l — довжина поверхні що оброблюється, мм;

l_1 — довжина врізання, мм;

l_2 — довжина перебігу інструменту, мм (приймають 0,5—2,0 мм);

l_3 — додаткова довжина для зняття пробної стружки, мм (приймають 2—5 мм в одиничному виробництві);

i — число робочих ходів.

При точінні, розточуванні, підрізуванні торців і відрізуванні величину l_1 визначають за формулою:

$$l_1 = \frac{t}{\operatorname{tg} \varphi},$$

де φ — головний кут в плані.

При свердлінні і центруванні довжину врізання визначають:

$$l_1 = \frac{D_c}{2 \operatorname{tg} \varphi}.$$

При розсвердлюванні, зенкеруванні і розвертанні на прохід:

$$l_1 = \frac{D_{pc} - D_c}{2} \operatorname{ctg} \varphi,$$

де D_{pc} — діаметр розсвердлювання, зенкерування або розвертання, мм.

При глухому зенкеруванні і розвертанні, а також зенкеруванні фасок і цекуванні l_1 приймають рівною 0,5—2,0 мм.

При нарізуванні різьби мітчиками в наскрізному отворі і зовнішньої різьби плашками основний час:

$$t_0 = \frac{l + l_1 + l_2}{n_{np} S} + \frac{l + l_1 + l_2}{n_{об} S},$$

де l_1 — довжина, що дорівнює 1...3 крокам нарізуваної різьби, мм;

l_2 — довжина, що дорівнює 2...3 крокам нарізуваної різьби, мм;

n_{np} і $n_{об}$ — частоти прямого і зворотнього обертання заготовки, хв^{-1} .

При нарізуванні різьби мітчиком в глухому отворі:

$$t_0 = \frac{l + l_1}{n_{np} S} + \frac{l + l_1}{n_{об} S}.$$

При фрезеруванні площин циліндричною фрезою, пазів дисковою фрезою, уступів кінцевою фрезою, площин кінцевою фрезою ($\varphi = 90$) основний час обробки визначають за формулою:

$$t_0 = \frac{l + l_1 + l_2}{S_M} i,$$

де l_1 — величина врізання фрези, 2...3 мм;

D_ϕ — діаметр фрези, мм;

t — глибина фрезерування, мм;

l_2 — величина перебігу фрези, що дорівнює $(0,03 \dots 0,05)D$, мм ;

S_M — хвилинна подача фрези, мм / хв.

При фрезеруванні шпонкової канавки кінцевою фрезою, коли канавка закрита з двох сторін:

$$t_0 = \frac{h_{ш} + (0,5 \dots 1,0) l_{ш}}{S_{в.м}} + \frac{l_{ш} - D_{\phi}}{S_{г.м}},$$

де $h_{ш}$ – глибина шпонкового паза, мм;

$l_{ш}$ – довжина шпонкового паза, мм;

D_{ϕ} – діаметер фрези, мм;

$S_{в.м}$ – вертикальна хвилинна подача, мм/хв;

$S_{г.м}$ – горизонтальна хвилинна подача, мм / хв.

Якщо канавка відкрита з двох сторін або на її кінцях просвердлені отвори на її повну глибину, то:

$$t_0 = \frac{l + l_1 + l_2}{S_M},$$

де l – довжина канавки, мм;

$l_1 = 0,5D_{\phi} + (0,5 \dots 1,0)$, мм;

$l_2 = 1 \dots 2$ мм;

S_M – хвилинна подача, мм/ хв.

При зовнішньому і внутрішньому круглому шліфуванні з поздовжньою подачею основний час визначають за формулою:

$$t_0 = \frac{LZ}{S_{ш} n_3 t} K,$$

де $L = l_e - (0,2 \dots 0,4) B_K$ при шліфуванні на прохід і $L = l_e - (0,4 \dots 0,6) B_K$, при шліфуванні в упір, мм;

l_e – довжина оброблюваного елемента, мм;

Z – припуск, що знімається, мм;

t – глибина різання за один робочий хід, мм;

K – коефіцієнт, що залежить від виду шліфування.

При зовнішньому шліфуванні в центрах і безцентровому шліфуванні методом врізання:

$$t_0 = \frac{Z}{S_M} = \frac{Z}{n_3 S_{non}} K,$$

де S_{non} – поперечна подача круга, мм / об.

При зовнішньому круглому безцентровому шліфуванні на прохід

$$t_0 = \frac{l_3 m + B_K}{S_{n_3} m} i K,$$

де l_3 – довжина оброблюваної заготовки, мм;

m – число заготовок в партії, шліфованих безперервним потоком;

$S_{n_3} = \pi D_{в.к} n_{в.к} \sin \alpha$ – поздовжня подача заготовки, мм / хв;

$D_{в.к}$ – діаметр ведучого круга, мм;

$n_{в.к}$ – частота обертання ведучого круга, хв⁻¹;

α – кут нахилу ведучого круга;

i – число робочих ходів, здійснених без зміни режимів різання.

При плоскому шліфуванні периферією круга на верстатах з прямокутним столом:

$$t_0 = \frac{L_{cm}}{1000v_{CT}} \frac{L_{XK}}{S_{non}} \frac{Z}{tm} K,$$

де $L_{cm} = l_{cm} + (10 \dots 15)$ – довжина ходу столу, мм;

l_{cm} – довжина столу, зайнятого заготовками, мм;

v_{cm} – швидкість поздовжнього переміщення столу з заготовками, мм/хв;

$L_{XK} = (B_{mn} + B_k + 5)$ – довжина ходу круга в напрямку подачі, мм;

$B_{m.n}$ – ширина магнітної плити, зайнятої заготовками, мм;

S_{non} – подача круга уздовж його осі, мм / хв;

m – число одночасно оброблюваних заготовок.

При плоскому шліфуванні торцем круга на верстатах з прямокутним столом:

$$t_0 = \frac{l_{CT} + l_1 + l_2}{1000v_{CT}} \frac{Z}{tm} K,$$

де $l_1 = 0,5(D_k - \sqrt{D_k^2 - D_\delta^2})$;

D – діаметр круга, мм;

B_δ – ширина заготовки, мм;

$l_2 = 5 \dots 10$ мм.

При плоскому шліфуванні торцем круга на верстатах з круглим столом:

$$t_0 = \frac{Z}{tmn_{cm}} K,$$

де $n_{cm} = 1000V_{cm}/pD_{cp}$, хв⁻¹;

V_{cm} – лінійна швидкість обертання столу, м/хв;

D_{cp} – діаметр кола столу, на якому розташовані заготовки, мм,

m – кількість заготовок, розміщених на столі.

При хонінгуванні отворів основний час визначають за формулою:

$$t_0 = \frac{Z}{tn_x},$$

де $n_x = 1000v_n / 2(l + 2l_n)$ – число подвійних ходів у хвилину, необхідних для зняття припуску, хв⁻¹;

v_n – середня поступальна швидкість руху брусків, мм / хв;

l – довжина отвору, мм;

$l_n = 25$ мм – додаткова довжина, що характеризує граничні положення брусків, мм;

t – радіальна подача на подвійний хід інструменту, мм/подвійний хід.

При протягуванні гладких і шліцьових отворів:

$$t_0 = \frac{l + (5 \dots 10)}{1000v},$$

де l – довжина робочої частини протяжки, мм;

v – швидкість протягування, м / хв.

Значення поправочних коефіцієнтів і рекомендації щодо їх застосування в розрахунках основного часу наведені в довідниках технолога. Там же є форму-

ли машинного часу для інших видів обробки заготовок на автоматах, верстатах з ЧПК і багатоопераційних верстатах. Час на налагодження верстатів, допоміжний час, пов'язаний з переходом, а також час на встановлення, зняття деталі і обслуговування робочого місця вибирають з нормативів.

Табличний метод нормування верстатних робіт. Вибір металообробного обладнання та режимів різання може проводитись також табличним методом з використанням загальномашинобудівних нормативів різання для технічного нормування робіт на металорізальних верстатах [7].

Розглянемо на прикладах вибір різального інструменту та розрахунок режимів різання для операцій точіння та свердління.

На токарно-гвинторізному верстаті 16К20 проводиться чорнове обточування на прохід шийки вала $D = 68$ мм до $d = \text{Ø } 62_{h12(-0,030)}$ мм. Довжина оброблюваної поверхні $l = 280$ мм, довжина вала $l_1 = 430$ мм. Заготовка – поковка із сталі – 40Х з межею міцності $\sigma_s = 700$ МПа. Спосіб кріплення заготовки – в центрах і поводковому патроні. Система верстат – інструмент – заготовка недостатньо жорстка. Параметр шорсткості поверхні $R_z = 80$ мкм. Ескіз обробки наведено на рисунку 2.5.

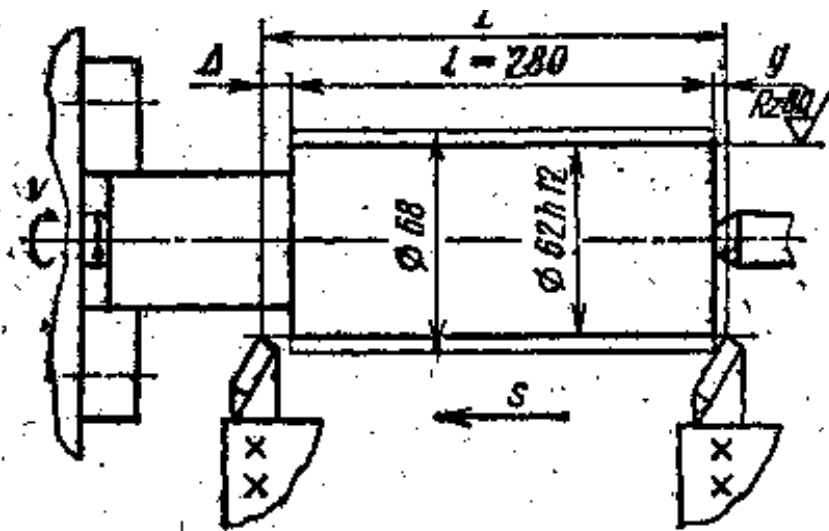


Рис. 2.5. Ескіз токарної обробки

По нормативам [7] вибираємо різець і встановлюємо його геометричні параметри.

Приймаємо токарний прохідний різець прямий правий. Матеріал пластилини – твердий сплав Т5К10 (додаток 1, с.352); матеріал державки – Сталь-45. Перетин державки різця 16×25 мм. У верстата 16К20 відстань від опорної поверхні різця в різцетримачі до лінії центрів 25 мм. Тому для установки різця на верстаті по центру, висота різця H повинна дорівнювати 25 мм. Довжину, прохідного різця вибирають в межах 100–250 мм, вона залежить в основному від розмірів різцетримача верстата.

Геометричні параметри різця вибираємо за додатком 2 (с. 355–356). Форма передньої поверхні – радіусна з фаскою; $\varphi = 60^\circ$; $\gamma_f = -5^\circ$; $f = 0,6$ мм; $R = 6$ мм; $B = 2,5$ мм; $h = 0,15$ мм (глибина заглиблення).

Із за відсутності в нормативах [7] рекомендацій з вибору інших геометричних параметрів приймаємо їх за довідником [9]:

$\gamma = 15^\circ$; $\alpha = 12^\circ$; $\lambda = 0$ (табл. 30, с. 188); $\varphi_1 = 15^\circ$ (табл. 31, с. 190); $r = 1$ мм (табл. 32, с. 190 і табл. 4, прим. 3, с. 420).

Призначаємо режими різання за нормативами [7].

Встановлюємо глибину різання. Припуск на обробку видаляємо за один прохід (в даному випадку це можливо, так як припуск відносно невеликий). Глибина різання (рівна припуску на сторону)

$$t = \frac{D - d}{2} = \frac{68 - 62}{2} = 3 \text{ мм.}$$

Призначаємо подачу (по карті 1, с. 36). Для обробки заготовки з конструкційної сталі діаметром до 100 мм різцем перетином 16×25 мм, при глибині різання до 3 мм подача $s = 0,6 \dots 0,9$ мм/об.

Перевіряємо рекомендовану подачу за обмежуючими факторами.

Знаходимо максимальне значення подачі, що допускається заданим параметром шорсткості поверхні (по карті 3, с. 39). За нормативними даними для отримання $R_z = 80$ мкм рекомендується при обробці сталі і чавуну та куту $\varphi_1 = 15^\circ$ і радіусу r до 1,5 мм, $s = 0,7 \dots 0,9$ мм / об.

Знаходимо максимальну подачу, що допускається міцністю державки різця (за додатком 9, с. 385): для сталі з $\sigma_s = 60 \dots 92$ кгс/мм², t до 3,5 мм і перетину різця 16×25 мм допустима подача $s_{\text{доп}} = 2$ мм/об. Приймаємо, що різець встановлений в різцетримачі з нормальним вильотом $l = 1,5 H$ (H – висота державки різця). В цьому випадку поправочний коефіцієнт на подачу $k_s = 1$ (там же).

Знаходимо максимальну подачу, що допускається міцністю пластини з твердого сплаву (за додатком 10, с. 387). Ця подача залежить від ряду факторів, у тому числі від товщини пластини з твердого сплаву. Для різця перетином 16×25 мм застосовують пластини товщиною $C = 4 \dots 5$ мм. Приймаємо $C = 4$ мм. Для сталі з $\sigma_s = 65 \dots 87$ кгс/мм², кута $\varphi = 60^\circ$; t до 4 мм і $C = 4$ мм $s_{\text{доп}} = 1,1$ мм / об.

Знаходимо максимальну подачу, що допускається жорсткістю заготовки (за додатком 12, с. 392). Для сталі з $\sigma_s = 65 \dots 87$ кгс/мм², поля допуску по h_{12} , t до 3,8 мм і діаметра заготовки $D = 60$ мм, значення $s_{\text{доп}} = 2,6$ мм/об.

Враховуємо поправочні коефіцієнти При відношенні довжини заготовки до діаметра обробленої поверхні

$$\frac{l_1}{d} = \frac{430}{62} = 7 \text{ - коефіцієнт } k_L = 4,9.$$

При $\varphi = 60^\circ$; $k_\varphi = 1,41$.

Решта поправочних коефіцієнтів на подачу для заданих умов обробки (ковзна посадка і установка заготовки в центрах) дорівнює одиниці. Тоді

$$s_{\text{доп}} = 2,6 k_L k_\varphi = 2,6 \cdot 4,9 \cdot 1,41 = 17,9 \text{ мм / об.}$$

Таким чином, для заданих умов роботи подача лімітується параметром шорсткості обробленої поверхні $R_z = 80$ мкм, так як $s_{\text{доп}} = 0,7 \dots 0,9$ мм/об виявилася найменшою з усіх допустимих подач.

Отриману подачу остаточно перевіряємо по осьовій силі (силі подачі), що допускається міцністю механізму подачі верстата $P_{x \text{ доп}}$. У верстата 16К20 $P_{x \text{ доп}} = 600$ кгс.

При заданих умовах роботи і подачі $s = 0,7 \dots 0,9$ мм / об. (додаток 7, с. 382-383) для сталі з $\sigma_s = 68 \dots 81$ кгс/мм², t до 3,4 мм, s до 1,8 мм/об, кута $\varphi = 60^\circ$ при роботі в діапазоні швидкостей різання 65–155 м / хв (тобто в діапазоні, що застосовується для попереднього точіння конструкційної сталі різцями зі сплаву Т5К10) сила подачі складе 205–145 кгс. Для заданих умов обробки ($\gamma = +12^\circ$; $\lambda = 0$) поправочні коефіцієнти на силу подачі рівні одиниці (там же). Так як $P_x < P_{x \text{ доп}}$ ($205 < 600$), то подача 0,7–0,9 мм / об не лімітується міцністю механізму подачі верстата. Таким чином, прийнята подача 0,7...0,9 мм/об є для заданих умов обробки максимальною технологічно допустимою.

Приймаємо середнє значення $s = 0,8$ мм / об.

Корегуємо подачу за паспортними даними верстата: $s = 0,8$ мм / об

За інших умов обробки може виявитися, що в графі «Подача» стоїть про черк. Це означає, що жорсткість заготовки практично не лімітує подачу.

Назначаємо період стійкості різці $T = 60$ хв ([1] табл. на с. 31). Поправочний коефіцієнт на швидкість різання дорівнює одиниці.

Допустимий знос різця із твердого сплаву по задній поверхні (додаток 3, с. 370). для чорнової обробки. вуглецевої і легованої сталі $h_3 = 1 \dots 1,4$ мм.

Визначаємо швидкість різання, що допускається різцем (по карті 6, с. 44-45). Для $\sigma_s = 63 \dots 70$ кгс/мм², t до 4 мм, s до 0,97 мм/об і кута $\varphi = 60^\circ$ при зовнішньому поздовжньому точінні $v_{\text{табл}} = 73$ м/хв. Наведений в карті поправочний коефіцієнт на швидкість різання для заданих умов обробки дорівнює одиниці. Отже приймаємо $v = v_{\text{табл}} = 73$ м/хв (1,21 м/с).

Визначаємо частоту обертання шпинделя, відповідну знайдений швидкості різання:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \text{ об / хв .}$$

$$n = \frac{1000 \cdot 73}{3,14 \cdot 68} = 342 \text{ об / хв .}$$

Корегуємо частоту обертання шпинделя за паспортними даними верстата і встановлюємо дійсне значення частоти обертання: $n_D = 315$ об/хв.

Визначаємо дійсну швидкість різання:

$$v_D = \frac{\pi D n_D}{1000} = \frac{3,14 \cdot 68 \cdot 315}{1000} = 67 \text{ м / хв (1,12 м / с) .}$$

Визначаємо потужність, затрачену на різання (по карті 7, с.48-49). Для $\sigma_s = 59 \dots 97$ кгс/мм², t до 3,4 мм, s до 0,96 мм/об і $v = 67$ м/хв потужність $N_{\text{табл}} = 4,9$ кВт. Для заданих умов обробки наведений у карті поправочний коефіцієнт на потужність $k_N = 1$. Отже, $N_{\text{різ}} = N_{\text{табл}} = 4,9$ кВт.

Перевіряємо, чи достатня потужність приводу верстата. Необхідно, щоб $N_{різ} \leq N_{ун}$. Потужність на шпинделі верстата по приводу $N_{ун} = N_D \eta$. У верстата 16К20 $N_D = 10 \text{ кВт}$, $\eta = 0,75$.

$N_{ун} = 10 \cdot 0,75 = 7,5 \text{ кВт}$. Відповідно $N_{різ} \leq N_{ун}$ ($4,9 \leq 7,5$), тобто обробка можлива.

Визначаємо основний час:

$$T_o = \frac{Li}{ns},$$

де i – число проходів.

Довжина проходу різця $L = l + y + \Delta$.

Врізання різця $y = t \cdot \text{ctg} \varphi = 3 \cdot \text{ctg} 60 = 3 \cdot 0,58 = 1,7 \text{ мм}$.

Перебіг різця $\Delta = 1 \dots 3 \text{ мм}$. Приймаємо $\Delta = 2 \text{ мм}$.

Тоді $L = 280 + 1,7 + 2 = 283,7 \text{ мм}$.

Число проходів $i = 1$.

$$T_o = \frac{283,7 \cdot 1}{315 \cdot 0,8} = 1,13 \text{ хв.}$$

На вертикально-свердлильному верстаті 2Н135 свердлять глухий отвір діаметром $D = 24 \text{ Н12}$ ($^{+0,21}$) на глибину $l = 95 \text{ мм}$. Матеріал оброблюваної заготовки – сірий чавун СЧ 25 твердістю НВ 210. Обробка – без охолодження.

По нормативам [7] вибираємо свердло і встановлюємо його геометричні параметри. Приймаємо спіральне свердло діаметром $D = 24 \text{ мм}$; матеріал різальної частини – твердий сплав ВК8 (додаток 1, с. 353). Геометричні параметри вибираємо по дод. 2 (с. 361):

$2\varphi = 118^\circ$ (форма заточування – одинарна); $\alpha = 16^\circ$; $\omega = 20^\circ$; $\omega_1 = 20^\circ$.

Призначаємо подачу (по карті 68, с. 130). Для НВ <229, D до 24 мм і I групи подач, так як за умовою обробляється отвір з полем допуску з Н12: $s = 0,45 \text{--} 0,55 \text{ мм/об}$.

Враховуємо поправочний коефіцієнт на подачу: $k_{ls} = 0,9$, так як відношення $l/D = 95/24 = 4$ (там же).

Тоді $s = (0,45 \dots 0,55) \cdot 0,9 = 0,405 \dots 0,495 \text{ мм/об}$. Корегуємо подачу по верстату: $s = 0,4 \text{ мм/об}$.

Перевіряємо прийнятну подачу по осьовій силі, що допускається міцністю механізму подачі верстата (додаток 14, с. 394): для сірого чавуну НВ 202–240, $P_{дон}$ до 1720 кгс (по паспорту верстата 2Н135 допустима осьова сила $P_{дон} = 1500 \text{ кгс}$) і D до 26 мм, $s_{дон} = 0,62 \text{ мм / об}$. Отже, призначена подача $s = 0,4 \text{ мм / об}$ цілком допустима.

Призначаємо період стійкості свердла (табл. 2, с. 98). Для свердла з твердого сплаву діаметром $D = 24 \text{ мм}$ рекомендується період стійкості $T = 75 \text{ хв}$. Допустимий знос свердла по задній поверхні $h_3 = 0,3 \text{ мм}$ (додаток 3, с. 371).

Визначаємо швидкість різання, що допускається різальними властивостями свердла (карта 69, с. 131). Для НВ 170...250, s до 0,41 мм/об і $D = 24 \text{ мм}$ $v_{табл} = 68 \text{ м/хв}$ (визначено інтерполяцією значень $v_{табл} = 64 \text{ м/хв}$ для $D = 20 \text{ мм}$ і $v_{табл} = 74 \text{ м / хв}$ для $D = 30 \text{ мм}$).

Враховуємо поправочний коефіцієнт: $k_{lv} = 0,85$, так як

$$\frac{l}{D} = \frac{95}{24} = 4 \text{ (там же).}$$

$$v_{II} = v_{табл} k_{lv} = 68 \cdot 0,85 = 57,7 \text{ м/хв (0.96 м/с).}$$

Частота обертання шпинделя, що відповідає знайденій швидкості різання:

$$n = \frac{1000 \cdot v_{II}}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 57,7}{3,14 \cdot 24} = 764 \text{ об/хв.}$$

Корегуємо частоту обертання шпинделя за паспортними даними верстата і встановлюємо дійсну частоту обертання: $n_I = 710 \text{ об / хв.}$

Дійсна швидкість різання:

$$v_D = \frac{\pi D n_D}{1000} = \frac{3,14 \cdot 24 \cdot 710}{1000} = 54 \text{ м/хв. (0,9 м/с)}$$

Визначаємо потужність, затрачену на різання (карта 70, с. 132). Для НВ до 229, D до 26 мм, s до 0,41 мм / об і $v = 54 \text{ м/хв}$, $N_{табл} = 4,3 \text{ кВт}$ (визначено інтерполяцією значень $N_{табл} = 3,9 \text{ кВт}$ для $v = 49 \text{ м/хв}$ і $N_{табл} = 4,7 \text{ кВт}$ для $v = 59 \text{ м/хв}$). Поправочні коефіцієнти на потужність в карті не наводяться. Отже, $N_{риз} = N_{табл} = 4,3 \text{ кВт}$.

Перевіряємо, чи достатня потужність приводу станка. $N_{риз} \leq N_{ун}$. У верстата 2Н135 $N_{ун} = N_0 \cdot \eta = 4,5 \cdot 0,8 = 3,6 \text{ кВт}$. $4,3 > 3,6$, тобто верстат по потужності перевантажений.

Визначаємо завантаження верстата по потужності:

$$\frac{N_{риз}}{N_{ун}} 100 = \frac{4,3}{3,6} 100 = 120\% .$$

Отже, верстат перевантажений по потужності на 20%. Для короткочасного різання (тривалістю до 1 хв) допускається перевантаження електродвигуна верстата на 25% його номінальної потужності. Для того щоб встановити, чи допустиме перевантаження в даному прикладі, необхідно дізнатися його тривалість, тобто визначити, *основний час*.

$$T_o = \frac{L}{ns} .$$

$$l = l + y + \Delta .$$

При одинарному заточенню свердла $y = 0,3D$ мм; $y = 0,3 \cdot 24 = 7$ мм; при свердлінні глухих отворів $\Delta = 0$; $L = 95 + 7 = 102$ мм.

$$T_o = \frac{102}{710 \cdot 0,4} = 0,36 \text{ хв.}$$

Таким чином, якщо свердлильна операція здійснюється в умовах серійного виробництва на універсальному устаткуванні і складається з декількох послідовно виконуваних переходів обробки, то перевантаження верстата по потужності в одному з цих переходів на 20% тривалістю 0,36 хв цілком допустиме.

У рішенні інших конкретних завдань може виявитися, що перевантаження верстата по потужності неприпустиме. В такому випадку знижують величину $N_{риз}$ шляхом відповідного зменшення швидкості різання (частоти обертання) або приймають іншу модель верстата з більшою потужністю приводу.

2.5 Нормування механізовано-ручних робіт.

При виконанні робіт, що виконуються вручну (слюсарних, розбірних і складальних), як правило, застосовують аналітично-досліджувальний метод нормування праці.

Технологічний процес виконання слюсарних робіт не ділять на переходи і прийоми з метою нормування. Складаються лише переліки дефектів заготовки та операцій для їх подолання, наприклад: забоїни і заусенці на робочих поверхнях, отримані при розбиранні – обпилювання напильником; погнутість стрижневих деталей – виправлення на молоті; зламані шпильки – вивертання екстрактором. Для технічного нормування наведеного переліку робіт є відповідні нормативні таблиці. Вони включають час на установку деталі у лещата і зняття її з лещат, зачистку нерівностей і зняття фаски напилком, зачистку крайок по циліндричній поверхні, зняття нерівностей після свердління в отворах зенкуванням вручну, обпилювання відкритих поверхонь, розмітку, кернування, нарізання різьби та інші операції.

Процес *розбирання* або *складання* виробів розбивають на однотипні технологічні елементи (зняття або встановлення шплінтів, відкручування або закручування гайок, шпильок, болтів, зняття або встановлення кришок та ін.) Для кожної такої частини операції вибираються нормативи, які корегують з урахуванням умов праці та складності конструкції і підсумовують по всій операції.

Частина часу розбирання не піддається прямому обліку. Це і технологічні перерви для планування майбутньої роботи, і збільшення часу на розбирання заіржавілих, зношених або деформованих з'єднань, і зниження інтенсивності праці при переході від однієї операції до іншої.

Складання включає регульовальні і пригоночні роботи, які залежать від складності агрегату чи машини, але не піддаються прямому розрахунку. Такі витрати праці встановлюються шляхом хронометражу і статистичної обробки.

Окремі норми основного і допоміжного часу, що враховують складність конструкції, визначають за нормативними таблицями для розбиральних і складальних робіт.

Додатковий і підготовчо-заклучний час для розбиральних і складальних робіт приймають рівним 20% оперативного часу.

Протягом основного часу електродугового зварювання і наплавлення відбувається плавлення металу електроду для утворення зварного шва або валика протягом горіння дуги. Основний час для нанесення одного погонного метра шва визначають за формулою:

$$t_0 = \frac{60m}{\alpha_n I},$$

де m – маса наплавленого шва або валика довжиною 1 м, г;

α_n – коефіцієнт наплавлення, г / А·год;

I – сила зварювального струму, А.

При нанесенні електрохімічних покриттів можливо сполучення в часі основних і допоміжних робіт. Під час осадження покриття участь робітника не потрібна. Він в цей час може виконувати очищення деталей, ізолювати поверх-

ні від дії електроліту, встановлювати деталі на підвіски, обезжирювати і промити їх.

Основний час нанесення покриття визначають за формулою:

$$t_0 = \frac{60h\gamma}{cD_k\alpha},$$

де h – товщина покриття, мм;

γ – щільність матеріалу покриття, г/см³;

c – електрохімічний еквівалент, г/А·год;

D_k – катодна щільність струму, А/дм²;

α – вихід металу по струму в частках одиниці.

При нанесенні покриття в барабанах, що обертаються, основний час, розрахований по наведеній вище формулі, збільшують на 25%.

Необхідно враховувати, що час допоміжного, організаційного і технічного обслуговування може повністю або частково перекриватися основним часом. Основний і допоміжний час ковальських робіт визначають за таблицями нормативів, де наводиться оперативний час на виконання одного виду ковальської роботи в залежності від розмірів заготовки та остаточних розмірів поковки.

При нормуванні цих робіт до складу часу вводиться час, що затрачається на нагрівання заготовки при куванні. Загальна формула визначення штучно-калькуляційного часу ($T_{шк}$, хв) прийме вигляд

$$T_{шк} = t_o + t_v + t_n + t_d + t_{nz} / z,$$

де t_o , t_v , t_d , t_{nz} – відповідно час допоміжний, нагрівання, додатковий та підготовчо-заклучний, хв;

z – число одночасно оброблюваних заготовок.

Нормований час нагрівання деталі становить приблизно 35% оперативного часу.

Нормування малярних робіт пов'язано з визначенням нормативів часу на підготовку поверхні до фарбування, нанесення лакофарбових покриттів і обробку пофарбованої поверхні. Нормативний час враховує такі умови: маляр звільнений від підношення до робочого місця матеріалів і деталей; лакофарбові матеріали надходять в готовому до застосування виді; переміщення пофарбованих деталей, їх поворот і укладання в межах робочого місця (завдовжки до 5 м) входять в обсяг робіт маляра і включені в оперативний час.

Поверхні, що фарбуються, в залежності від їх рельєфу, підрозділяються на три групи складності. До першої групи відносяться плоскі або криволінійні поверхні без виступів і кишень (капот, крила, баки, борти, підлога й ін.). Другу групу складають поверхні труб, косинців, западин поверхонь агрегатів, рам, радіаторів та ін.). Найбільш складні поверхні машин з важкодоступними елементами (колісні ніші, простір під панеллю приладів та ін.) відносяться до поверхонь третьої групи.

При визначенні розмірів поверхонь застосовують спосіб подвоєної суми площ трьох проекцій об'єкта. Ці проекції описують простими геометричними фігурами (прямокутником, квадратом, колом і т. д.). Наприклад, якщо габаритні розміри двигуна 1200×1000×700 мм, то поверхня фарбування дорівнює:

$$2 \times (12 \times 10) + 2 \times (10 \times 7) + 2 \times (12 \times 7) = 548 \text{ дм}^2.$$

Час у нормативах наведено для виконання робіт маляром в зручному положенні, в іншому випадку застосовують поправочні коефіцієнти.

Після того як визначені нормативи часу на складові оперативного часу по стадіях фарбування, штучно-калькуляційний час ($T_{ук}$, хв) розраховують за формулою:

$$T_{ук} = K t_{он},$$

де K – коефіцієнт, що враховує витрати на додаткове та підготовчозаклучний час,

$t_{он}$ – оперативний час, хв.

2.6. Відновлення деталей способом ремонтних розмірів

Види ремонтних розмірів деталей. Відновлення деталей способом обробки під ремонтний розмір полягає в тому, що одну із зношених деталей з'єднання, зазвичай складнішу і дорожчу, піддають механічній обробці до установленого ремонтного розміру, а іншу деталь замінюють новою або відновленою до того ж ремонтного розміру.

В результаті механічної обробки видаляється поверхневий зношений шар і деталь отримує новий розмір – ремонтний, який може бути більшим (для отворів) або меншим (для валів) від номінального. На спеціалізованих заводах організовано виготовлення взаємозамінних деталей.

У авторемонтному виробництві використовують три види ремонтних розмірів : стандартні, встановлені заводом-виробником; регламентовані, встановлені ТУ на капітальний ремонт автомобілів; вільні, що передбачають обробку до отримання правильної геометричної форми і необхідної шорсткості поверхонь деталей.

Перевага стандартних ремонтних розмірів перед вільними полягає в тому, що вони дозволяють заздалегідь мати готові деталі і здійснювати ремонт методом повної або групової взаємозамінності, що скорочує тривалість ремонту.

Величина ремонтного розміру залежить від зносу робочої поверхні деталі і припуску на обробку. Припуск на обробку призначається з урахуванням виду обробки, типу устаткування, розміру і матеріалу деталі.

Визначення ремонтних розмірів деталей. Наукове обґрунтування способу дав професор В. В. Єфремов.

Методика визначення ремонтних розмірів заснована на збереженні початкової геометричної осі відновленої деталі (рис. 2.6).

Перші ремонтні розміри для валів d_{P1} і для отворів D_{P1} визначають за формулами:

$$d_{P1} = d_H - 2(i_{max} + Z);$$

$$D_{P1} = D_H + 2(i_{max} + Z),$$

де d_H і D_H – номінальні діаметри валу і отвору, мм;

i_{max} – максимальний знос на сторону, мм;

Z – припуск на механічну обробку на сторону, мм.

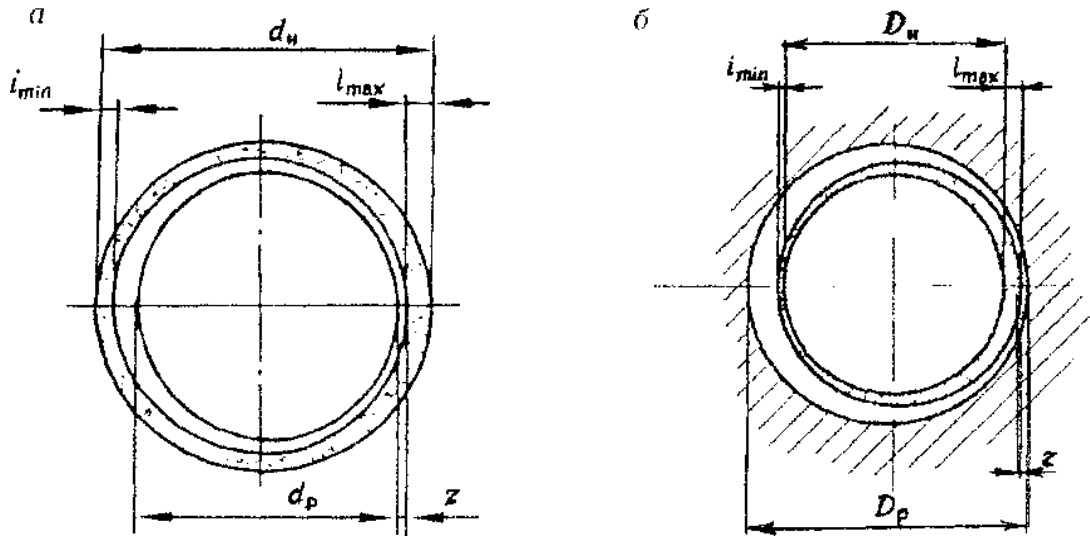


Рис.2.6. Схема визначення ремонтних розмірів:
а – для валу; б – для отвору

Максимальний знос визначають непрямым шляхом за допомогою коефіцієнту нерівномірності зносу f , який представляє собою відношення максимального зносу на сторону до величини загального зносу i_0 на діаметр:

$$f = \frac{i_{\max}}{i_0}$$

Якщо мінімальний знос деталі на сторону позначити через i_{\min} , то загальний знос дорівнюватиме сумі i_{\max} та i_{\min} та визначаються за виразами:

$$i_0 = d_H - d_1; \quad i_0 = D_1 - D_H,$$

де d_1 і D_1 – діаметри зношеного валу і отвору, мм.

Тоді $i_{\max} = f \cdot i_0$ і розрахункові формули для визначення першого і наступних ремонтних розмірів наберуть вигляду (для валів) :

$$d_{P1} = d_H - 2(f \cdot i_0 + Z),$$

$$d_{P2} = d_{P1} - 2(f \cdot i_0 + Z) = d_H - 4(f \cdot i_0 + Z),$$

.....

$$d_{Pn} = d_H - 2n(f \cdot i_0 + Z) = d_{P_{n-1}} - 2(f \cdot i_0 + Z).$$

Позначивши величину $2(f \cdot i_0 + Z) = \gamma$, отримаємо

$$d_{Pn} = d_H - n\gamma,$$

де γ – ремонтний інтервал.

Останні ремонтні розміри d_{Pn} (для валів) і D_{Pn} (для отворів) обумовлюються гранично можливим діаметром деталі, що визначається міцністю і жорсткістю, величиною питомих тисків, глибиною поверхнево-загартованого шару, розмірами спряженої деталі.

Кількість ремонтних розмірів n для шийок валів:

$$n = \frac{d_H - d_{P_n}}{\gamma}$$

Для отворів число можливих ремонтних розмірів визначають аналогічно, як і для валів, тобто:

$$n = \frac{D_{P_n} - D_H}{\gamma},$$

де D_{P_n} - максимально допустимий діаметр отвору.

Відновлення деталей способом обробки під ремонтний розмір є широко поширеним і загальнодоступним в ремонтній практиці. Цим способом відновлюють корінні і шатунні шийки колінчастих валів, опорні шийки розподільних валів, гільзи циліндрів та інші деталі.

До переваг цього способу відновлення деталей слід віднести: простоту технологічного процесу і застосовуваного обладнання; високу економічну ефективність в порівнянні з іншими способами; збереження взаємозамінності деталей в межах ремонтного розміру.

Недоліками способу є: збільшення номенклатури запасних частин, що поставляються промисловістю; ускладнення процесу дефектування деталей, оскільки необхідно мати великий набір вимірювального інструменту; ускладнення організації процесів комплектування деталей, складання вузлів і збереження деталей на складах.

2.7. Відновлення деталей способом додаткових ремонтних деталей

Використання додаткових ремонтних деталей. Спосіб установки ДРД застосовують з метою компенсації зносу робочих поверхонь деталей, заміни зношеної чи пошкодженої частини деталі.

У першому випадку зношена поверхня відновлюється шляхом установки спеціально виготовленої ДРД. Залежно від виду відновлюваної поверхні ДРД можуть мати форму гільзи, кільця, шайби, пластини, різьбової втулки та ін. Цим способом відновлюють отвори під підшипники кочення в картерах короб передач, задніх мостах, маточинах коліс, отвори із зношеними різьбами і інші елементи деталей.

У другому випадку деталі складної форми, що мають знос окремих поверхонь, можна відновити шляхом повного видалення пошкодженої частини і установки замість неї заздалегідь виготовленої ДРД. Цей спосіб застосовують при відновленні корпусних деталей, блоків шестерень, при ремонті кузовів і кабін автомобілів і в інших випадках.

Особливості способу. Додаткові ремонтні деталі зазвичай виготовляють з того ж матеріалу, що і відновлювану деталь. Робоча поверхня ДРД повинна відповідати властивостям відновлюваної поверхні деталі. Тому ДРД при необхідності піддаються відповідній термічній обробці.

Закріплення ДРД найчастіше здійснюється за рахунок посадок з гарантованим натягом (рис. 2.7).

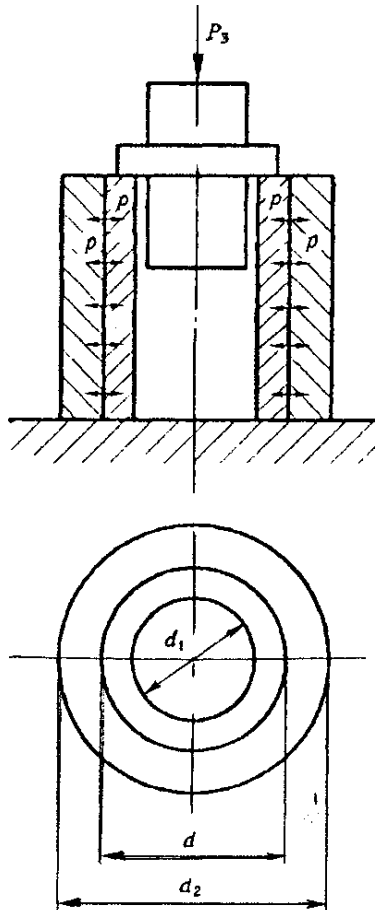


Рис.2.7.- Схема встановлення ДРД з натягом

Значення дійсного (δ_p , мкм) натягу з'єднання визначають за формулою:

$$\delta_p = \delta_T - 1,2(R_{z1} + R_{z2});$$

чи

$$\delta_p = \delta_T - 1,4(k_1 R_{a1} + k_2 R_{a2}),$$

де δ_T – табличний натяг посадки, мкм;

R_{z1}, R_{z2} – висота нерівностей профілю, мкм;

R_{a1}, R_{a2} – середні арифметичні відхилення профілів, мкм;

k_1, k_2 – коефіцієнти, що залежать від шорсткості поверхонь (5, 6-й кл. – $k = 3$; 7, 8-й кл. – $k = 4$; 10-14-й кл. – $k = 5$).

Умова міцності з'єднання з натягом, що сприймає при експлуатації статичну осьову силу S , виражають нерівністю $S < P_3$. Зусилля запресування (P_3 , Н) визначається за формулою:

$$P_3 = f_{\Pi} p \pi d l,$$

де f_{Π} – коефіцієнт тертя при запресуванні (приймається в межах 0,05 – 0,20 залежно від металу деталей, що спряжуються);

p – тиск на контактній поверхні, Па;

d і l – діаметр і довжина контактної поверхні, м;

$$p = \frac{\delta_p \cdot 10^{-3}}{\left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right) d}$$

де E_1, E_2 – модулі пружності матеріалів охоплюваної і охоплюючої деталей, Па;

C_1, C_2 – коефіцієнти, що залежать від матеріалу з'єднаних деталей і співвідношення їх діаметрів (рис. 2.2) :

$$C_1 = \frac{d^2 + d_1^2}{d^2 - d_1^2} - \mu_1; \quad C_2 = \frac{d_2^2 + d^2}{d_1^2 + d^2} + \mu_2,$$

де D – діаметр поверхонь, що сполучаються, м;

μ_1, μ_2 – коефіцієнти Пуассона матеріалів валу і втулки.

Значення коефіцієнтів C_1 і C_2 приведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Значення коефіцієнтів C_1 та C_2

$\frac{d_1}{d}$ або $\frac{d}{d_2}$	C_1	C_2	$\frac{d_1}{d}$ або $\frac{d}{d_2}$	C_1	C_2
0	0,70	-	0,5	1,37	1,97
0,1	0,72	1,32	0,6	1,83	2,43
0,2	0,78	1,38	0,7	2,62	3,22
0,3	0,89	1,49	0,8	4,25	4,85
0,4	1,08	1,68	0,9	9,23	9,63

У тих випадках, коли деталі з'єднання працюють з великими навантаженнями або виготовлені з матеріалів, що мають різні коефіцієнти лінійного розширення, і з'єднання знаходиться під впливом дії високої температури, запресування втулок доцільно здійснювати з нагріванням охоплюючої деталі або охолодженням охоплюваної. Міцність посадок з нагрівом за одних і тих же умов в 3 рази вища пресових посадок в холодному стані, а середня величина натягу в 2 рази більше внаслідок того, що нерівності поверхонь деталей при гарячій посадці не згладжуються, як при холодній.

В окремих випадках застосовують додаткове кріплення ДРД приварюванням по торцю, застосуванням стопорних гвинтів або штифтів. Після встановлення ДРД здійснюють їх остаточну механічну обробку до необхідних розмірів.

Відновлення деталей способом встановлення ДРД знайшло широке застосування при ремонті автомобілів внаслідок простоти технологічного процесу і застосування нескладного обладнання, а також можливості відновлення деталей зі значним зносом.

До *недоліків* способу відносяться: неможливість відновлення ряду деталей з конструктивних міркувань; зниження в окремих випадках механічної міцності деталі; не завжди виправдане застосування способу з економічної точки зору із-за великих витрат матеріалу на виготовлення ДРД.

3 Відновлення деталей способом пластичного деформування

3.1. Сутність процесу пластичного деформування

Чинники, що визначають необхідне зусилля деформування. Пластичність – це властивість твердих тіл змінювати свою форму і розміри під дією зовнішніх сил і зберігати їх у вигляді залишкової деформації після зняття навантаження.

Спосіб заснований на зміні розмірів і форми деталі за рахунок перерозподілу металу самої деталі. Способи обробки пластичним деформуванням можуть бути застосовані тільки для деталей, виготовлених з пластичних матеріалів.

Суть способу відновлення деталей пластичним деформуванням полягає в тому, що метал під дією зовнішніх сил переміщується в необхідному напрямі до зношеної поверхні деталі, відновлюючи її розміри і геометричну форму без руйнування при напруженнях вищих межі пружності. Об'єм відновлюваної деталі при цьому залишається без змін.

Необхідне зусилля деформування залежать від пластичності матеріалу, температури нагріву, швидкості деформування і схеми головних напружень.

Пластичність матеріалу залежить від хімічного складу і структури металу. Найбільшу пластичність мають хімічно чисті метали. Із збільшенням вмісту вуглецю в металі пластичність зменшується. Вміст кремнію понад 0,35 %, а марганцю понад 0,8 % також призводить до зниження пластичності.

Розмір зерна металу значно впливає на пластичність при холодній деформації. Чим менше зерно, тим міцніший метал, а отже, менша його пластичність. При гарячому деформуванні розмір зерна суттєво не впливає на пластичність, але впливає на міцність деталі, оскільки при певній температурі і ступені деформування для цього матеріалу деталі, розмір зерна досягає максимального значення. Таку ступінь деформування називають критичною, оскільки вона призводить до зниження міцності деталі.

Розрізняють два види пластичного деформування : холодне і гаряче.

Пластичне деформування, що протікає при температурі нижчій за температуру рекристалізації і викликає зміцнення (наклеп) металу, називається *холодним*.

Деформування, що протікає при температурі вищій за температуру рекристалізації, при якій не відбувається зміцнення металу, називається *гарячою*.

Температура, при якій внаслідок зміни структури металу при нагріванні відбувається різке зниження твердості і підвищення пластичності, називається температурою *рекристалізації*. Мінімальна температура рекристалізації складає приблизно 0,4 від абсолютної температури плавлення металу.

Нагрівання деталі до температури кування знижує опір деформації в 10 – 15 разів в порівнянні з процесом холодного деформування. Проте такий нагрів доцільний тільки для значних пластичних деформацій. Для вуглецевих сталей доцільний нагрів в інтервалі 350 – 750 °С.

Швидкість деформування значно впливає на пластичність. Збільшення швидкості знижує пластичність в умовах гарячого деформування і незначно впливає на пластичність при холодному деформуванні. Швидкість деформування на гідравлічних пресах складає 0,01 – 0,1 м/с; на механічних 0,25-0,5 м/с; на молотах (в момент удару) – 4 – 8 м/с.

Пластичне деформування може виконуватися для відновлення:

- ◆ розмірів зношених поверхонь деталей;
- ◆ початкової форми деталей;
- ◆ механічних властивостей деталей (втомної міцності, жорсткості та ін.).

3.2. Способи пластичного деформування для відновлення зношених поверхонь

Класифікація способів пластичного деформування. Залежно від напрямку діючої сили P_d і потрібної деформації δ розрізняють наступні способи пластичного деформування: осадження, роздавання, об'ємне редукування (обтиснення), утискування, протягання або витягання і об'ємне накотування (рис. 3.1).

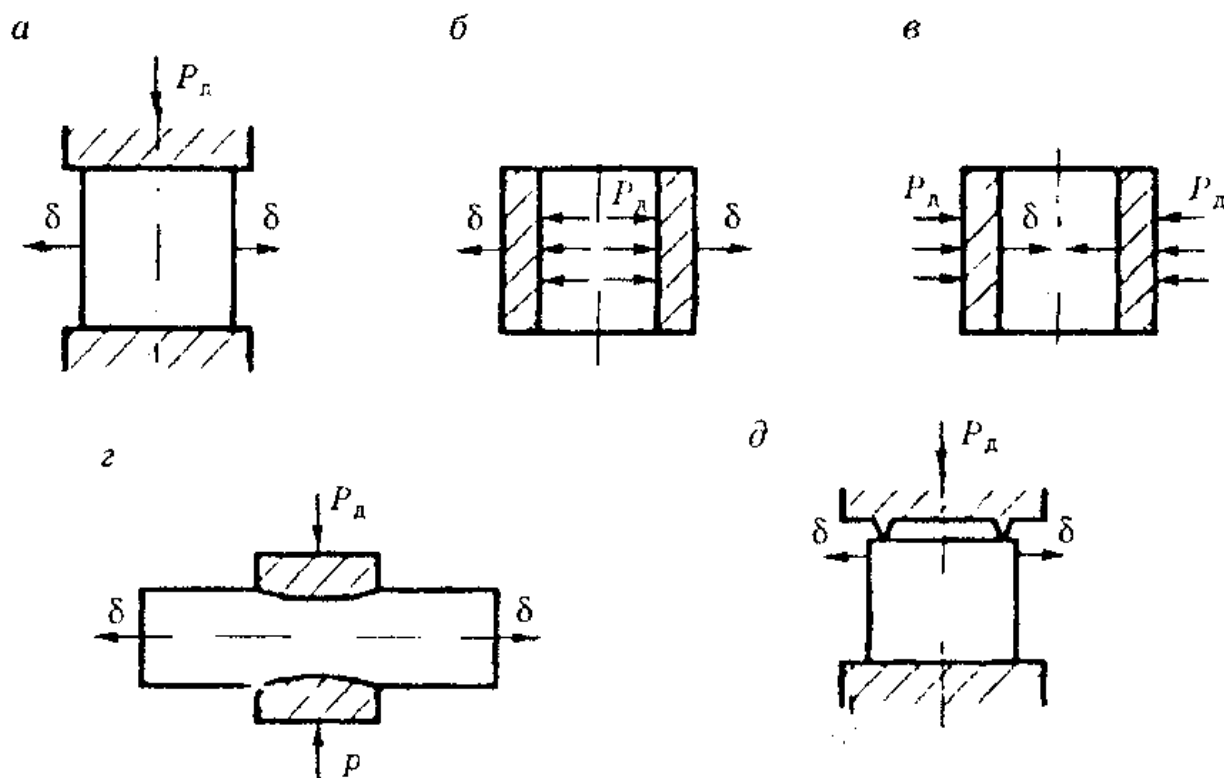


Рис. 3.1. Принципові схеми відновлення деталей пластичним деформуванням

Осадження (рис.3.1, а) застосовується для збільшення розмірів зношених зовнішніх і зменшення розмірів внутрішніх поверхонь деталей за рахунок зме-

нення висоти деталі. При осадженні напрям діючої сили P_d перпендикулярний напрям деформації δ .

Осадженням відновлюють різні втулки з кольорових металів, пальці, короткі осі і інші аналогічні деталі. Зміна діаметру деталі відбувається за рахунок зменшення її висоти. Сильно навантажені деталі можна відновлювати за умови, що їх висота зменшиться не більше 1,0 %; для середньонавантажених деталей допускається зменшення до 1,5 %.

Тиск (p , МПа) при відновленні деталей способом осадження визначається за формулою:

$$p = \sigma_T \left(1 + \frac{d}{6h} \right),$$

де σ_T – межа текучості матеріалу, МПа;

d і h – діаметр і висота деталі, м.

Роздавання застосовується для збільшення зовнішнього діаметра зношеної поверхні деталі при практично незмінній її висоті. Схема процесу відновлення деталей роздаванням наведена на рис. 3.1, б. Роздавання характеризується збігом напрямку діючої сили P_d із напрямом деформації δ . Зміна зовнішнього діаметру деталі відбувається за допомогою сферичних, конічних або циліндричних прошивок (кульки, ролика, розрізної конусної втулки й ін.). Залежно від матеріалу деталі і її термічної обробки роздавання виконується в холодному або гарячому стані деталі. Значення питомого тиску (p , МПа) при роздаванні визначають за формулою:

$$p = 1,15\sigma_T \ln \left(\frac{D}{d} \right),$$

де D і d — зовнішній і внутрішній діаметри заготовки, м.

Збільшення діаметру деталі при роздаванні як правило не перевищує 1,0 мм. До типових деталей, що підлягають відновленню роздаванням, відносяться: поршневі пальці, різні втулки, чашки диференціала, труби напіввісей й ін.

Об'ємне редукування (обтиснення) застосовується при відновленні зношеної поверхні отвору деталі при практично незмінній її висоті. При обтисненні напрям діючої сили P_d і необхідної деформації δ збігаються й спрямовані у середину заготовки (рис. 3.1, в).

Зміна внутрішнього діаметру відбувається за рахунок зменшення зовнішнього діаметру деталі, що обтискається за допомогою матриці.

Приймальна частина матриці має кут $7-8^\circ$, а вихідна – $18-20^\circ$; висота циліндричного поясу 3–5 мм. Діаметр калібрувального поясу матриці приймають із розрахунку зменшення внутрішнього діаметру на величину зношування й припуску на механічну обробку.

Утискування застосовується для збільшення розмірів зношених частин деталі за допомогою переміщення металу з її неробочих поверхонь до зношених. При утискуванні відбувається одночасно осадження й роздавання (рис. 3.1, д).

Об'ємним утискуванням можна відновлювати клапани, зубчасті колеса, шліцеві вали, кульові пальці й інші деталі. Обробку ведуть при високій температурі матеріалу (для сталевих деталей $680-920^\circ\text{C}$).

Витягання застосовується для збільшення довжини деталі за рахунок місцевого зменшення площі її поперечного перерізу. При витяганні напрямок діючої сили P_d не збігається з напрямком деформації δ (рис. 3.1, з). Спосіб застосовують при відновленні довжини суцільної деталі з нежорсткими вимогами до зовнішнього діаметру. Типовими деталями, які підлягають відновленню витяганням є різні тяги й стержні.

Об'ємне накотування. Сутність способу накотування заключається в зміні розмірів зношеної поверхні деталі за рахунок витиснення металу з окремих робочих ділянок. Накотування виконується зубчастим загартованим роликком (рис. 3.2). Рекомендується застосовувати накотування при відновленні деталей, які сприймають контактний тиск не більше 7,0 МПа. Відновлення деталей, що мають твердість менше 32 HRC, можна здійснювати в холодному стані при достатній подачі мастильно-охолоджувальної рідини.

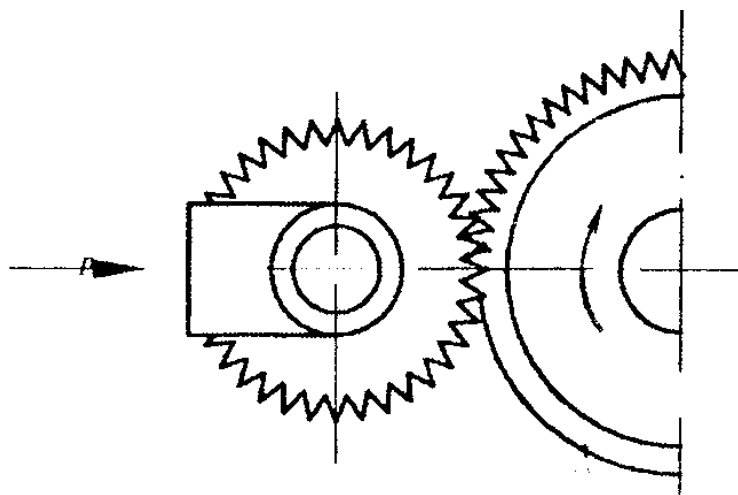


Рис. 3.2. Об'ємне накотування

Висота підйому металу на сторону при накотуванні не повинна перевищувати 0,2 мм, а втрата опорної поверхні – не більше 50 %. При цьому необхідно дотримуватись умови:

$$nt = \pi d,$$

де n – число зубців інструменту;

t – крок накотування, мм;

d – діаметр відновлюваної поверхні, мм.

Рекомендована швидкість при накотуванні роликками: середньовуглецевої сталі – 8–20 м/хв; чавуну – 10–15 м/хв; латуні і бронзи – 30–50 м/хв; алюмінію – до 90 м/хв.

Рекомендована поперечна подача для сталі 0,15 мм/об; поздовжня подача 0,4–0,6 мм/об. Число ходів залежить від матеріалу деталі, кроку й величини піднімаємого шару металу.

Накотування застосовується для відновлення зношених поверхонь валів під підшипники кочення, цапф поворотних кулаків й інших деталей.

В залежності від виду затрачуваної енергії розрізняють механічне, термопластичне й електрогідравлічне пластичне деформування.

При *механічному* деформуванні заготовку встановлюють у пристосування, а зусилля створюють молотами або пресами.

Термопластичне деформування (роздавання) застосовують при відновленні деталей, що мають форму «тіл обертання» (поршневих пальців та інших деталей). Суть процесу полягає в тому, що деталь нагрівають до температури вище точки A_{c3} і охолоджують зсередини потоком рідини (рис. 3.3). При цьому внутрішні шари металу, охолоджуючись, прагнуть зменшитися в діаметрі, але їм перешкоджають нагріті зовнішні шари. Тому внутрішні шари пластично розтягуються й збільшуються в діаметрі в порівнянні з початковим розміром у холодному стані. Подальше охолодження внутрішніх шарів перетворює їх у жорстку «оправку», яка перешкоджає зменшенню зовнішнього діаметра відновлюваної деталі.

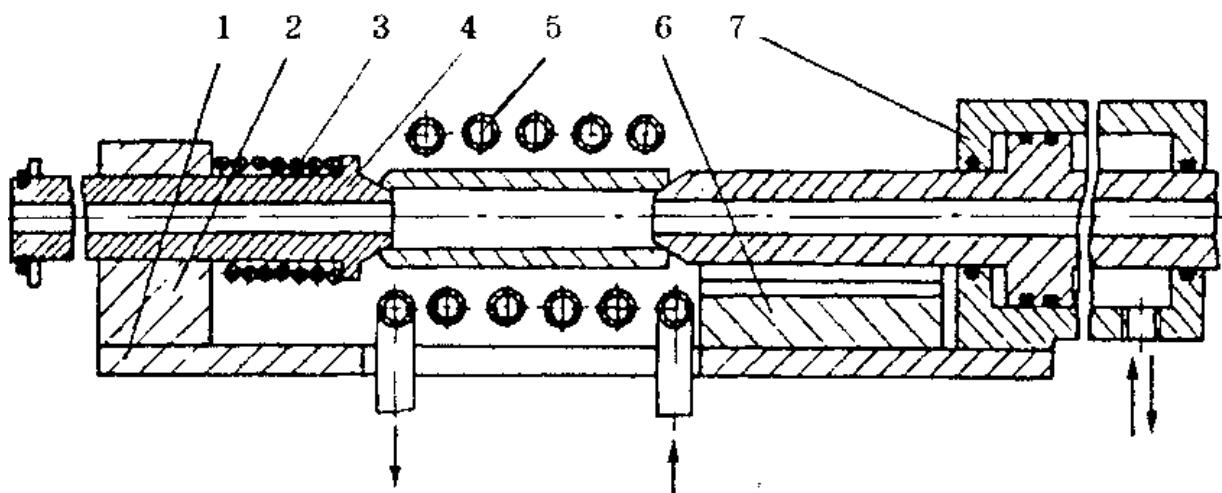


Рис. 3.3. Схема стэнда для термопластичного роздавання поршневих пальців: 1-плита; 2- кронштейн; 3-пружина; 4-шток порожній; 5-індуктор; 6-призма на пряму; 7-пневмоциліндр

Сутність процесу *електрогідравлічного* роздавання полягає в ініціюванні в рідині, що заповнює внутрішню порожнину заготовки, електричного розряду, який створює високий гідравлічний тиск чим викликає пластичне деформування металу відновлюваної деталі й забезпечує припуск на механічну обробку шліфуванням. На рис. 3.4 наведена схема пристрою для електрогідравлічного роздавання поршневих пальців. В отвір заготовки встановлюють вибуховий патрон з ініціюючим алюмінієвим провідником діаметром 0,7 мм. Внутрішня порожнина заготовки заповнена водою. За допомогою батареї конденсаторів ємністю 6 мкФ у цій порожнині створюють розряд під напругою 37 кВ. На приведених режимах роздачі відбувається збільшення діаметра поршневих пальців зі сталі 15Х на 0,12 мм, а із сталі 45-на 0,2мм. Після деформування необхідна механічна обробка поверхні до визначеного розміру.

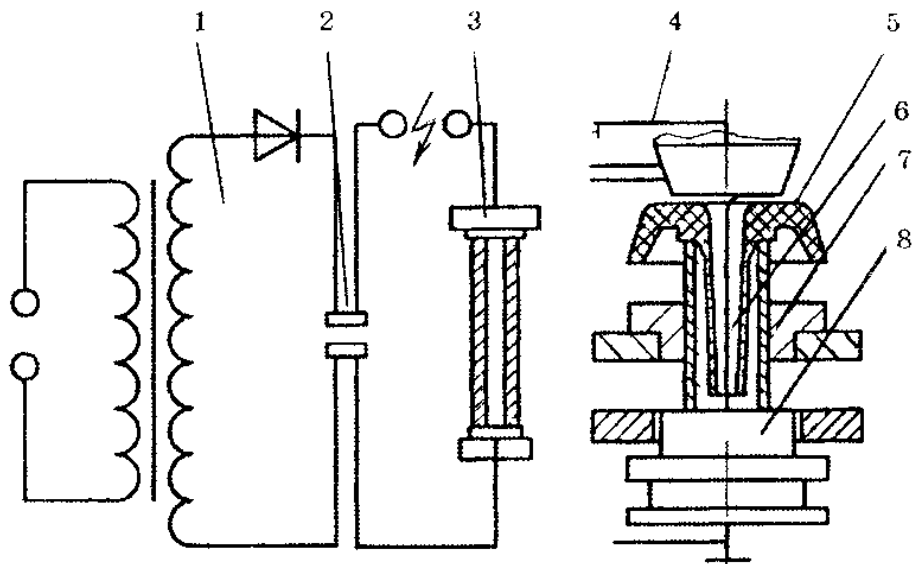


Рис. 3.4. Схема пристрою для електрогідравлічної роздавання:
 1—джерело енергії; 2—накопичувач енергії; 3—технологічний вузол; 4—позитивний електрод; 5—пластмасовий патрон; 6—провідник; 7—відновлювана деталь; 8—негативний електрод

3.3. Відновлення форми деталей

Способи правки. Відновлення форми деталей відбувається під дією зовнішньої сили за рахунок залишкових напружень і незначних змін в поверхневих шарах деталі. Форму деформуємої деталі відновлюють правкою.

Існують два способи правки: статичним навантаженням (тиском) і об'ємною чеканкою (наклепом).

Правка тиском може виконуватися в холодному стані або з нагріванням. *Холодна правка* знижує утомну міцність деталі і не завжди дозволяє одержати її стабільну форму через зворотню дію внаслідок об'ємної неоднорідності й асиметричного розподілу залишкових напружень. Утомна міцність зменшується за рахунок утворення в поверхневих шарах ділянок з розтягуючими напруженнями. Зниження її досягає 15–40 %.

Для підвищення якості правки застосовують наступні способи:

- витримування деталі під пресом тривалий час;
- подвійну правку деталі, яка полягає в початковому перегині деталі з наступним виправленням у зворотню сторону;
- стабілізацію правки нагріванням деталі до 400–500°C і витримкою протягом 0,5–1,0 г. Останнім способом відновлюють до 90 % несучої здатності деталі. Однак при цьому виникає небезпека порушення термообробки деталі.

Зусилля холодної правки (P , МН) визначають за формулою:

$$P = \frac{0,0068\sigma_T d^3}{l},$$

де d —діаметр деталі, м;

l —відстань між опорами або призмами преса, м.

Гаряча правка виконується, якщо необхідно усунути великі деформації деталі. При гарячій правці деталь нагрівають до температури 600–800°C. Правка завершується відпусканням.

Сутність правки об'ємною чеканкою (наклепом) полягає у витягуванні поверхневого шару металу під дією ударів робочого інструменту.

Правка наклепом забезпечує високу якість і має наступні переваги перед першим способом: стабільність геометричної форми деталі в часі; можливість виправлення будь-якої ділянки деталі; висока точність виправлення (до 0,02 мм); процес чеканки досить простий і продуктивний.

Відновлення здійснюють пневматичними молотками із заокругленим бойком шляхом нанесення ударів по поверхнях деталі, що не труться.

3.4. Відновлення механічних властивостей деталей

Способи обробки деталей методом поверхнево-пластичним деформування. У процесі експлуатації автомобіля багато деталей втрачають свої механічні властивості. З метою відновлення цих властивостей і насамперед утомної міцності та зносостійкості застосовують наступні способи обробки деталей методом поверхнево-пластичного деформування (ППД): зміцнююче обкотування й розкотування; зміцнююче карбування; обробку дробом; відцентрову обробку; калібрування отворів; алмазне вигладжування й ін.

Зміцнююче обкотування й розкотування може застосовуватися для обробки зовнішніх і внутрішніх поверхонь обертання, галтелей, площин і фасонних поверхонь.

Як робочий інструмент застосовують ролики й кульки, установлені в спеціальних пристосуваннях із пружними елементами. При цьому шорсткість поверхні досягає значень $R_a = 0,2–0,8$ мкм при вихідних значеннях $R_a = 0,8–6,3$ мкм. Швидкість обробки встановлюється в межах 30–150 м/хв. Інструмент притискається до заготовки зусиллям поперечної подачі.

Робоче зусилля P приймають у межах:

$$1,5P_{0,05} \leq P \leq 3P_{0,05},$$

де $P_{0,05}$ – зусилля, що забезпечує одержання наклепаного шару, рівного 0,05 від радіуса зміцнюючої поверхні деталі, Н.

$$P_{0,05} = 5 \cdot 10^{-5} R_d^2 \sigma_T m^2,$$

де σ_T – межа текучості матеріалу, МПа;

m — поправочний коефіцієнт:

$$m = 1 + 0,07 \left(\frac{1}{R_{np}} + \frac{2}{D_p} + \frac{1}{R_d} \right)^{-1},$$

де R_{np} – профільний радіус ролика, мм;

D_p – діаметр ролика, мм;

R_d – радіус зміцнювальної поверхні, мм.

Зміцнююче карбування виконується за допомогою пневматичних карбувальних пристосувань ЧМ-1, ЧМ-2, ЧМ-3, які дозволяють наносити по поверхні численні удари, що викликають пластичне деформування поверхневого шару. Застосовуються також пневматичні карбувальні молотки МО-10, СМ-3 і РМ-6.

Глибина наклепу при карбуванні 3,0–3,5 мм, твердість поверхні підвищується на 15–30 %; шорсткість поверхні $R_a = 20\text{--}160$ мкм.

Карбування доцільно вести за умови:

$$0,3 \leq \frac{d_n}{2R} \leq 0,7,$$

де d_n – граничне значення відбитка для даної сталі, мм.

$$d_n = d_1(1,54 - 0,001 \cdot HB),$$

де d_1 – діаметр відбитка, мм;

HB – твердість по Бринелю;

R – радіус сфери пуансона, мм.

Калібрування отворів – це чистова операція обробки отворів деталей пластичним деформуванням, що виконується переміщенням з натягом деформуючого інструмента (кульки або циліндра з фасками). При обробці отворів у товстостінних деталях з початковим параметром шорсткості $R_a = 6,3\text{--}1,6$ мкм одержують $R_a = 0,8\text{--}0,1$ мкм (для сталі); $R_a = 1,6\text{--}0,4$ мкм (для чавуну); $R_a = 0,4\text{--}0,1$ мкм – для бронзи.

Калібрування гладких циліндрів дозволяє одержати точність 8–9-го квалітетів, а в деяких випадках – 6–7-го квалітетів. Швидкість обробки встановлюють у межах 2,0–2,5 м/хв. Розрахункові зусилля зменшують на 30–35 % при обробці чавунних деталей і на 60–65 % при обробці бронзових або алюмінієвих деталей в порівнянні зі сталлю. Значення натягу приймається в межах 0,01–0,02 мм.

Алмазне вигладжування забезпечує високу зносостійкість поверхонь та утомну міцність деталей. Інструмент для вигладжування складається з державки з алмазом на кінці. Зусилля для вигладжування не повинне перевищувати 300 Н. Оптимальне зусилля, при якому забезпечується найбільш висока зносостійкість алмаза – 250 Н. Обробка із застосуванням оливи И–20А знижує зношування алмаза в 5 разів у порівнянні з вигладжуванням всуху.

Швидкість вигладжування для м'яких сталей і кольорових металів приймають рівною 10–80 м/хв; для сталей із твердістю 35–67 HRC швидкість 200–280 м/хв, подача 0,02–0,05 мм/об.

Шорсткість поверхні може досягати значень $R_a = 0,1\text{--}0,05$ мкм; мікротвердість збільшується на 50–60 %; глибина наклепаного шару до 400 мкм.

Відцентрова обробка відрізняється високою продуктивністю й не вимагає складного встаткування.

При відцентровій обробці розмір деталі практично не змінюється, шорсткість деталі зменшується на 1–2 класи, твердість збільшується для сталі на 25–45 %, чавуну – на 30–60 %.

4 Відновлення деталей зварюванням і наплавленням

4.1. Загальна характеристика процесів зварювання й наплавлення

Види зварювання й наплавлення. Основними способами відновлення деталей, широко застосовуваними в авторемонтному виробництві, є зварювання й наплавлення, на частку яких припадає до 40 % трудомісткості відновлюваних робіт.

Основоположником зварювання електродом, що не плавиться, є Н.Н. Бенардос (1882), а що плавиться – Н.Г. Славянов (1888).

Зварюванням називається процес одержання нероз'ємного з'єднання металевих виробів місцевим сплавленням або пластичним деформуванням (зварювання тиском). Зварювання застосовують також для усунення механічних пошкоджень у деталях (тріщин, пробоїв, відколів).

Наплавленням називається процес нанесення на поверхню виробу шару розплавленого металу, призначеного для відновлення розмірів або для підвищення зносостійкості поверхні деталі.

При відновленні автомобільних деталей застосовуються як немеханізовані (газове зварювання й наплавлення, електродугове зварювання й наплавлення), так і механізовані способи наплавлення деталей: під флюсом, у середовищі захисних газів, вібродугове, плазмове та ін.

У процесі зварювання й наплавлення прилягаючі до зварного шва ділянки основного металу деталі нагріваються до температури плавлення. У результаті в наплавленому й основному металі відбуваються структурні зміни й утворення внутрішніх напружень і деформацій, які впливають на якість відновлюваних деталей.

Структурні зміни в основному металі деталі виникають внаслідок нерівномірного нагрівання деталі в зоні біля шва, що називається зоною термічного впливу.

Для забезпечення необхідної міцності й зносостійкості відновлених деталей велику роль грають величина зони термічного впливу, структура наплавленого шару і якість його поверхні, глибина проплавлення основного металу. Тому довговічність відновлених деталей визначається режимами наплавлення й виникаючими при цьому тепловими впливами на деталь, застосовуваними електродними матеріалами, флюсами та ін.

Величина зони термічного впливу визначається кількістю теплоти, введеної в одиницю часу в метал деталі. Ефективна теплова потужність дуги (Q_{ef} , Вт) може бути визначена з виразу:

$$Q_{ef} = IU_d \eta,$$

де I – сила струму дуги, А;

U_d – напруга дуги, В;

η – ефективний ККД процесу нагрівання.

$$\eta = \frac{Q_{ef}}{Q},$$

де Q – повна теплова потужність дуги, Вт.

Коефіцієнт η для деяких способів зварювання може бути прийнятий рівним: при зварюванні відкритою дугою – 0,50 – 0,75; при зварюванні й наплавленні в середовищі захисних газів – 0,50 – 0,60; при виконанні зварювальних процесів під флюсом – 0,80 – 0,85.

Кількість теплоти, що передається металу деталі в одиницю часу на одиницю довжини, залежить від режимів наплавлення. Цю кількість теплоти (q_n , Дж/см) визначають за формулою (погонна енергія зварювання):

$$q_n = \frac{Q_{\text{еф}}}{v_c} = \frac{IU_D \eta}{v_c},$$

де v_c – швидкість зварювання, см/с.

По площі перетину валика наплавленого металу погонна енергія:

$$q_n = 155F,$$

де F – площа перетину валика наплавленого металу, мм².

При відновленні деталей зварюванням і наплавленнями у зв'язку з необхідністю забезпечення їхньої експлуатаційної надійності й міцності варто знати глибину проплавлення основного металу й величину зони термічного впливу, тобто основні показники, що визначають зносостійкість деталі і її довговічність.

Кількість розплавленого металу (G_p , г) за час горіння дуги:

$$G_p = \alpha_p I t_0.$$

Кількість наплавленого на деталь металу G_n буде менше кількості розплавленого внаслідок втрат електродного металу на випаровування і розбризкування:

$$G_n = \alpha_n I t_0,$$

де α_p і α_n – коефіцієнти, відповідно, плавлення електродного металу й наплавлення, г/А·год;

t_0 – основний час наплавлення, год.

Коефіцієнт втрат електродного металу визначається за виразом:

$$\psi = \frac{G_p - G_n}{G_p} \cdot 100 = \frac{\alpha_p I t_0 - \alpha_n I t_0}{\alpha_p I t_0} \cdot 100 = \left(1 - \frac{\alpha_n}{\alpha_p}\right) \cdot 100.$$

Значення коефіцієнтів α_p , α_n , ψ залежать від способу зварювання (наплавлення), марки електрода, щільності струму та інших параметрів.

Так, при ручному наплавленні $\psi = 5$ –10 %; автоматичному наплавленню під флюсом $\psi = 1,0$ –1,5%; у середовищі вуглекислого газу $\psi = 5$ –15%.

При наплавленні деталей з вуглецевих і легированих сталей для попередження виникнення тріщин потрібен підігрів деталей, що ускладнює технологічний процес.

Необхідна температура підігріву визначається по формулі:

$$T_{\text{нід.}} = 350\sqrt{C_e' - 0,25},$$

де C_e' – повний еквівалент вуглецю:

$$C'_e = C_e + N,$$

де C_e – еквівалентна кількість вуглецю, що враховує вплив легуючих елементів:

$$C_e = C + \frac{1}{9}(Mn + Cr) + \frac{1}{18}Ni + \frac{1}{13}Mo.$$

В наведеній формулі С, Мn, Cr, Ni, Мо – вміст елементів, %; N – поправка до еквівалента вуглецю C_e .

$$N = 0,005hC_e,$$

де h – товщина деталі, мм;

0,005 – коефіцієнт товщини (визначений дослідницьким шляхом).

Тоді повний еквівалент вуглецю дорівнює

$$C'_e = C_e + 0,005hC_e = C_e(1 + 0,005h).$$

Приклад. Визначити температуру підігріву при відновленні наплавленням шліців напівосі автомобіля МАЗ ($d = 70$ мм).

Рішення. Матеріал напівосі – сталь 40 ХНМА наступного хімічного складу: С = 0,36–0,44%; Cr = 0,6–0,9%; Ni = 1,25–1,75%; Мn = 0,5 – 0,8%; Мо = 0,15–0,25%.

Визначимо еквівалент вуглецю по хімічному складу сталі 40 ХНМА. Прийmemo середнє значення вмісту окремих елементів у відсотках.

$$C_e = 0,4 + \frac{0,65 + 0,75}{9} + \frac{1,5}{18} + \frac{0,2}{13} = 0,65.$$

Виправлення на товщину металу:

$$N = 0,005 \cdot 70 \cdot 0,65 = 0,23.$$

Повний еквівалент вуглецю

$$C'_e = 0,65(1 + 0,005 \cdot 70) = 0,88.$$

Температура підігріву матеріалу перед наплавленням:

$$T_{ни0} = 350\sqrt{0,88 - 0,25} = 280^{\circ}C.$$

4.2. Газове зварювання і наплавлення

Різновиди зварювання. Газове зварювання й газополуменеве наплавлення широко використовуються в авторемонтному виробництві при ремонті кузовів й інших виробів з тонколистового металу, а також для відновлення деталей.

При газовому зварюванні плавлення металу відбувається за рахунок теплоти, що виділяється при згорянні горючих газів у середовищі кисню. Такими газами є: ацетилен, пропан, бутан, метан й ін.

Найбільше поширення одержало киснево–ацетиленове зварювання. Залежно від співвідношення (по масі) кисню й ацетилену розрізняють три види полум'я.

Для нейтрального – відношення $\frac{O_2}{C_2H_2} = 1,0 - 1,2$; для відновлювального – 0,8–0,9, а

для окислювального – 1,2–1,5.

Як правило зварювання й наплавлення ведуть нейтральним полум'ям. Зварювання й наплавлення деталей відновлювальним полум'ям призводить до

підвищення твердості й крихкості металу й застосовується при зварюванні деталей із низьковуглецевих сталей.

Зварювання окислювальним полум'ям призводить до утворення оксидів у розплавленому металі, які погіршують якість з'єднання. Тому окислювальне полум'я непридатне для зварювання сталі, а застосовується лише для різання металів і зварювання деталей з латуні.

Для запобігання окислюванню розплавленого металу, особливо при зварюванні легованих сталей, застосовуються різні флюси. Внаслідок нерівномірного нагрівання деталі в зоні біля шва, що становить при газовому зварюванні 25—30 мм, виникають структурні зміни в основному металі деталі, що знижують механічні властивості металу й сприяють виникненню деформації деталі. Для запобігання або зменшення деформації деталей необхідно попередньо їх підігрівати й повільно охолоджувати.

При газовому зварюванні необхідно правильно вибрати режим зварювання, що залежить від властивостей металу, розміру деталі й ін. Так, витрати горючого газу (ацетилену) (Q , л/год) визначають по формулі

$$Q = A \cdot S,$$

де A – коефіцієнт, що залежить від металу деталі, л/год на 1 мм товщини деталі (для вуглецевих сталей $A = 100 - 120$; високолегованих сталей $-A = 75$; чавуну, міді $-A = 150$; алюмінієвого сплаву $-A = 100$);

S – товщина металу, що зварюється, мм.

По величині витрат ацетилену вибирають номер наконечника зварювального пальника (табл. 4.1). Найбільш широко застосовуються універсальні інжекторні пальники ГС-53 із змінними наконечниками (№ 1–7).

Таблиця 4.1 Наконечники до пальника ГС-53 для ручного газового зварювання

Параметри	Номер наконечника						
	1	2	3	4	5	6	7
Товщина зварювання, мм	0,5- 1,5	1,0- 2,5	2,5- 4,0	4- 7	7- 10	10- 18	18- 30
Витрати ацетилену, л/год	50- 125	125- 250	250- 400	400- 700	700- 1100	1050- 1750	1700- 2800

Замість ацетилену як горючий газ можна використати пропан-бутанову суміш та інші горючі гази. Для цього газу характерна мала швидкість згоряння й незначний діапазон вибухонебезпечності у суміші з повітрям.

На відміну від ацетилену (температура полум'я 3100—3200 °С) при згорянні пропан-бутанової суміші температура полум'я не перевищує 2400–2700 °С. Тому для зварювання застосовуються спеціальні пальники (ГЗУ, ГЗМ), що працюють із підігрівом газу для підвищення температури полум'я. Однак підігрівачий пристрій не забезпечує істотного підвищення температури полум'я. Тому рекомендується використання звичайних ацетиленових пальників (ГС–53, ГСМ–53) із розсвердленими мундштуками (№ 3 – до 2,2 мм; № 4 – до 2,5 мм; № 5 – до 2,5 мм) і інжекторами (№ 3 – до 0,7 мм; № 4 – до 0,95 мм; № 5 – до 1,5 мм).

Пропан-бутанова суміш застосовується також при відновленні наплавленням багатьох деталей спеціальною горілкою, яка має бункер для порошкових прищадочних матеріалів.

Для газополуменевого наплавлення сталевих і чавунних деталей застосовуються порошкові матеріали НПЧ-1, НПЧ-2, НПЧ-3. Склад порошку НПЧ-1 у відсотках: Si – 1,3–1,5; В – 1,2– 1,5; Fe – 0,1–0,7; С – 0,1–0,3; Cr –4–5. Решта – нікель.

Перед використанням металеві порошки прожарюють для зневоднювання при $t = 200\text{--}300\text{ }^\circ\text{C}$ протягом 1–2 годин. Потім до порошку додають 2–5 % флюсу, що складається з 93–97% (по масі) зневодненої бури і 1–7% силіко-кальція. На підігріту до $t = 350\text{--}380\text{ }^\circ\text{C}$ поверхню заготовки спочатку напилюють шар порошку, а потім його оплавляють полум'ям пальника. Пропано-кисневе наплавлення металевими порошками забезпечує твердість поверхні сталевих деталей 35–55 HRC.

4.3. Електродугове зварювання і наплавлення

Сутність процесів. При електродуговому зварюванні й наплавленні плавлення металу відбувається за рахунок теплоти, що виділяється в електричній дузі. Живлення дуги може здійснюватись змінним або постійним струмом. При зварюванні постійним струмом розрізняють *прямую* й *зворотню* полярність. При зварюванні на прямій полярності деталь з'єднується з позитивним полюсом зварювального генератора, а електрод – з негативним полюсом. При зворотній полярності – навпаки.

При зварюванні на зворотній полярності деталь нагрівається менше, ніж при прямій полярності, що має велике практичне значення. Електрична дуга складається із трьох частин: катодної й анодної областей і стовпа дуги (рис. 4.1).

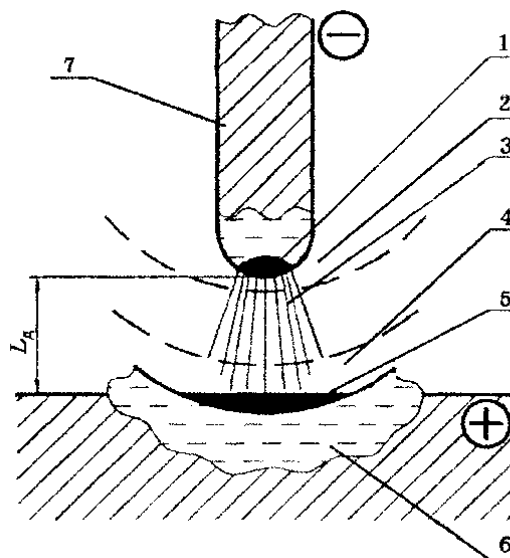


Рис. 4.1. Будова електричної дуги:

- 1 – катодна пляма дуги; 2 – катодна область; 3 – стовп дуги;
4 – анодна область; 5 – анодна пляма; 6 – розплавлений метал;
7 – електрод; L_d – довжина дуги

Температура металу в катодній плямі становить 2600–3000 °С, у той час як в анодній плямі –3500–4000 °С. Температура середовища в стовпі дуги досягає 6000–7000 °С.

На зворотній полярності рекомендується зварювати тонкостінні (до 2,5 мм) деталі, а також деталі з легованих сталей деяких марок, відновлювати зварюванням чавунні деталі в холодному стані, тому що в цих випадках небажане нагрівання деталей до високої температури.

При зварюванні змінним струмом температура обох полюсів однакова.

Матеріали, що застосовуються. При виконанні зварювальних і наплавлювальних робіт застосовуються різні присадочні матеріали, електроди, флюси й захисні гази. Основою електрода, що плавиться, є зварювальний дріт.

Присадочні матеріали застосовуються у вигляді дроту й порошків. ГОСТ 2246-70 передбачає 77 марок сталевих дротів для зварювання, діаметром від 0,3 мм до 12 мм. Зварювальний дріт позначається буквами «Св». За ГОСТ 10543-98 для наплавлення деталей застосовується 30 марок дроту діаметром 0,3–8,0 мм. Наплавлювальний дріт позначається буквами «Нп». Умовне позначення марки дроту включає:

- за індексом через дефіс число, що показує вміст вуглецю в сотих частках відсотка;
- літерно-цифрове позначення легуючих елементів;
- ступінь чистоти матеріалу;
- інші відомості.

При вмісті легуючих елементів до 1 % вказують тільки позначення цього елемента, а якщо вміст більший 1 %, вказуються відсотки.

Наплавлювальний дріт виготовляють із вуглецевих (Нп-30, Нп-45, Нп-50 й ін.), легованих (Нп-65Г, Нп-30ХГСА, Нп-40ХЗГ2МФ й ін.) і високолегованих (Нп-40Х13, Нп-45Х4ВЗГФ, Нп-Г13А й ін.) сталей.

Для зварювання й наплавлювання використовується також *порошковий дріт*, що являє сталеву оболонку (трубу), заповнену порошкоподібною шихтою, яка складається з металевого компоненту та флюсу.

Найбільш широко застосовуються порошкові дроти діаметром 1,6–3,0 мм. Порошкові дроти призначені для механізованого зварювання й наплавлення сталевих і чавунних деталей як з додатковим захистом від кисню повітря флюсом або газом, так і без нього.

Порошковий дріт позначається літерами «ПП». Перевагою застосування порошкового дроту є можливість одержання в широких межах хімічного складу і якості металу шва за рахунок підбору шихти. Порошковий дріт випускають чотирьох типів: для наплавлювання під флюсом, у середовищі захисних газів, в атмосфері повітря й універсальну.

При ручному дуговому зварюванні застосовуються зварювальні електроди, які діляться на *типи* (по твердості наплавленого металу) і *марки* (по хімічному складу). Тип електрода позначається буквою «Э» із вказівкою праворуч міцності металу зварного шва при розтягуванні, МПа. Наприклад, тип стрижня – Э46, марка покриття – УОНИ-13/55.

Як електродний дріт в АРП застосовуються наступні марки: Св-08; Св-08А; Св-08Г; Св-08ГА; Св-10Г2 й ін. Електроди для наплавлення поверхонь позначають літерами «ЭН» і числом, що вказує твердість наплавленого металу без термообробки.

По хімічному складу відповідно ГОСТ 10051-75 електроди розділені на 44 типи (наприклад, Э-16Г2ХМ, Э-110Х14В13Ф2, Э-13Х16Н8М5С5Г4).

Для захисту розплавленого металу від окислювання киснем, насичення азотом повітря, введення у зварювальний шов легуючих компонентів застосовуються електроди із спеціальними покриттями, які по призначенню поділяються на *іонізуючі* (тонкі) з товщиною покриття 0,1–0,25 мм та *якісні* (товсті) з товщиною покриття 0,5 – 1,5 мм на сторону.

Найпоширенішим іонізуючим покриттям є крейдова обмазка, що складається з 80–85 % крейди та 15–20 % рідкого скла. Тонкі іонізуючі покриття електродів служать для забезпечення стійкого горіння дуги.

До складу якісних покриттів входять наступні речовини: *газоутворюючі* (крохмаль, целюлоза, деревне борошно); *шлакоутворюючі* (польовий шпат, мармур, кварцовий пісок, граніт, титановий концентрат, мармурова руда й ін.); *розкислюючі* (феромарганець, феросиліцій, Са, А1, Ті, що мають більшу спорідненість до кисню, чим залізо); *легуючі* (ферохром, феромолібден, феротитан й ін.); зв'язувальні (рідке скло, декстрин й ін.).

Для видалення оксидів і запобіганню розплавленого металу від вторинного окислювання застосовуються *флюси*, які можна розділити на три групи: плавкі, неплавкі та керамічні.

Для приготування плавкого флюсу його компоненти перемішують у необхідній пропорції, розплавляють і після затвердіння подрібнюють до потрібного розміру. До цієї групи відносяться флюси: АН-348А, ОСЦ-45, АН-60, АН-10, АН-20, АН-30, призначені для зварювання вуглецевих і низьковуглецевих сталей. Склад плавких флюсів наведений у табл. 4.2.

Таблиця 4.2 - Склад зварювальних плавлених флюсів

Марка флюса	Склад по масі, %								
	MnO	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	CaF ₂	S	P	Fe ₂ O ₃	SiO ₂
АН-348А	34-38	6,5	5,0-7,5	4,5	4,0-5,5	0,15	0,12	2	41-44
ОСЦ-45	38-44	6,5	2,5	5,0	6-9	0,15	0,15	2	38-44
АН-60	36-41	3-11	0,5-3	5,0	5-8	0,15	0,15	1,5	Решта
ФЦ-9, ОСЦ-45М	38-41	6,5	2,5	10-13	2-3	0,1	0,1	2	Решта
АН-10	29-34	3-5	до 1,2	19-21	18-24	0,15	0,2	1,2	20-23
АН-20	До 0,5	5	11	30	29	0,08	0,05	1,0	22

Неплавкі флюси виготовляються простим перемішуванням вихідних компонентів. Ці флюси можуть бути твердими або рідкими речовинами. Типовим

представником даної групи є флюс АФ-4А, що застосовується для зварювання алюмінію і його сплавів (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 Зміст і характеристика неплавлених флюсів

Марка флюса	Компоненти	Склад, %	Призначення
АФ-4А	Хлорид натрію	28	Киснево-ацетиленове зварювання алюмінію
	Хлорид калію	50	
	Фторид натрію	8	
	Фторид літію	14	
АН-А4	Хлорид калію	50	Дугове зварювання алюмінію
	Хлорид літію	20	
	Кріоліт	30	

Керамічні флюси відрізняються від плавких тим, що після перемішування компоненти флюсу спікаються при температурі близько 800 °С, що забезпечує збереження необхідних властивостей вихідних речовин; тоді як при плавленні частково знижується активність флюсу. До цієї групи відносяться флюси: АНК-18, АНК-19, АНК-30, ЖСН-1. Наприклад, флсу АНК-18 має наступний склад у відсотках: CaCO₃ – 6–7; CaF₂ – 26–28; MgO – 26–30; Al₂O₃ – 17–18; SiO₂ – 7–11; Na₂SO₄ або KO₂ – 2,0 –2,3; Cr – 5,2–6,5; Mn – 2,0–2,5; C – 0,12–0,20; Ti – 0,2–0,3; Al – 1,9–2,0; Si –0,2–0,3; Fe – 3–4; S і P – до 0,15.

Режим електродугового зварювання й наплавлення обумовлюється вибором типу, марки й діаметра електрода, сили зварювального струму й полярності (у випадку зварювання на постійному струмі), порядком накладення валиків й ін.

Тип і марку електрода вибирають залежно від хімічного складу й необхідних механічних властивостей відновлюваної деталі. Діаметр електрода ($d_{ел}$, мм) приймають залежно від товщини деталей, що зварюють, (δ , мм):

$$d_{ел} = 0,5\delta + (1 - 2).$$

Сила зварювального струму I орієнтовно може бути визначена по емпіричній залежності:

$$I = kd,$$

де k – коефіцієнт, що залежить від товщини зварювання, А/мм (табл. 4.4);

d – товщина матеріалу або діаметр стрижня електрода, мм.

Таблиця 4.4 - Значення коефіцієнта k залежно від діаметра електрода

d , мм	1-2	3-4	5-6
k , А/мм	25-30	30-45	45-60

Електроди для зварювання вибираються відповідно до ГОСТ 9466-75 і ГОСТ 9467-75.

Як зварювальне устаткування при зварюванні змінним струмом використовуються зварювальні трансформатори типу ТС-300, ТС-500, ТД-300 та ін.

При зварюванні постійним струмом застосовуються зварювальні перетворювачі: ПСО-300-3, ПС-500, САМ-300-2 та ін.

При напівавтоматичному зварюванні електродний дріт подається в зону зварювання за допомогою зварювального напівавтомата, що складається з випрямлюва-

ча та механізму подачі дроту. До таких напіваавтоматів відносяться: А-580М, ОКС-1252М, А-765, А-1197 та ін.

При відновленні деталей, що мають форму тіл обертання, для обертання застосовуються спеціальні установки: УД-133, УД-140, УД-143, УД-144, УД-209, УД-233, УД-299, УД-302, УД-651, ОКС-11200, ОКС-11236, ОКС-11238, ОКС-14408, ОКС-27432 та ін.

4.4. Відновлення зварюванням деталей із сірого і ковкого чавуну

Особливості зварювання деталей із сірого чавуну. Із сірого чавуну виготовляють складні корпусні деталі: блоки циліндрів, головки блоків, картери та інші деталі. Основними дефектами даних деталей є: тріщини, пробоїни, відколи, пошкодження різьби в отворах й ін. Найпоширенішим способом усунення цих дефектів є зварювання.

При відновленні зварюванням чавунних деталей необхідно враховувати особливості чавуну, що затруднюють його зварювання. Ці особливості полягають у наступному:

- внаслідок місцевого нагрівання й швидкого охолодження, що призводять до нерівномірності усадки окремих компонентів чавуну, у шві й навколошовній зоні, виникають внутрішні напруження, які сприяють утворенню тріщин;

- в результаті високої швидкості охолодження розплавленого чавуну відбувається його відбілювання, тому що вуглець не встигає виділитися у вигляді графіту й перетворюється в цементит Fe_3C . Відбілений чавун характеризується високою твердістю й крихкістю, що знижує міцність звареного з'єднання й затрудняє його наступну механічну обробку;

- у процесі зварювання відбувається вигорання вуглецю, що супроводжується інтенсивним газовиділенням із зварювальної ванни і призводить до утворення пор у металі шва, при цьому чавун при нагріванні із твердого стану швидко переходить у рідкий, тому не встигають виділитися гази;

- внаслідок підвищеної рідинотекучості чавуну утворюються труднощі утримування розплавленого металу від витікання й формування шва;

- в результаті утворення тугоплавких оксидів кремнію й інших елементів з температурою плавлення біля $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$ можливе непроварювання металу.

Не дивлячись на вказані труднощі, розроблені технології відновлення чавунних деталей зварюванням, які забезпечують достатньо високу якість зварювального шва. При цьому застосовуються два основні види зварювання чавуна: гаряче й холодне.

Гаряче зварювання застосовується для деталей складної форми з попереднім їх підігрівом до температури $600 - 650\text{ }^{\circ}\text{C}$ зі швидкістю $120 - 150\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{год}$ в нагрівальних печах. В останній час успішно застосовуються інфрачервоні випромінювачі, які забезпечують місцевий нагрів частини деталі.

Гаряче зварювання відбувається киснево-ацетиленовим вогнем з невеликим надлишком ацетилену. Присадочним матеріалом служать чавунні прутки марки А або Б з підвищеним вмістом кремнію до $3,0 - 3,5\%$ (табл.4.5) або латунна проволочка Л63.

Зварювання відбувається із застосуванням флюсів на основі бури, так як температура плавлення чавуну 1200°C , а оксидів 1400°C . Рекомендуються наступний склад флюсів: бура ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) – 100%; бура – 50%, гідрокарбонат натрію (NaHCO_3) – 47%, SiO_2 – 3%; бура – 56%, карбонат натрію (Na_2CO_3) – 22%. Застосовується також флюс ФСЧ-1.

Після зварювання відбувається низькотемпературний відпал, нагрівання деталі до $650\text{-}700^{\circ}\text{C}$ і її охолодження разом з нагрітою піччю.

Гаряче зварювання чавуна забезпечує високу якість шва, але воно потребує більших енерго- і трудових затрат при відновленні корпусних деталей. Тому на практиці застосовують холодне зварювання, яке простіше за гаряче.

Таблиця 4.5 - Присадочні прутки для зварювання чавуну

Марка прутка	Вміст елементів, %							
	C	Si	Mn	S (не більше)	P	Ti	Cr (не більше)	Ni
А	3,0- 8,5	3,0-3,4	0,5- 0,8	0,08	0,2- 0,4	-	0,05	0,03
Б	3,0-3,5	3,5- 4,0	0,5- 0,8	0,08	0,3- 0,5	—	0,05	0,04
НЧ-1	3,0- 3,5	3,0- 3,4	0,5-0,8	0,05	0,2 -0,4	0,03 - 0,06	0,05	0,06
НЧ-2	3,0 -3,5	3,5- 4,0	0,5-0,8	0,05	0,2- 0,04	0,03 - 0,06	0,05	0,06

Застосовують наступні види холодного зварювання:

- газове;
- ручне сталевими електродами;
- ручне електродами з кольорових металів і сплавів;
- напівавтоматичне дротом.

Газове зварювання тонкостінних деталей виконують прутками Пр-ЧН1, а товстостінних Пр-ЧН2, хімічний склад яких приведений в табл. 4.6

Таблиця 4.6 - Склад прутків для холодного зварювання чавуну

Марка прутка	Вміст елементів, %						
	C	Si	Mn	Ni	Ti	P	S
Пр-ЧН1	3,0—3,5	3,0 -3,4	0,5-0,8	0,4—0,6	0,03-0,06	0,2-0,4	0,05
Пр-ЧН2		3,5-4,0					

В якості флюсів застосовують ФЧН-1 і ФЧН-2 (табл.4.7), а також буру і суміш бури і гідрокарбонату натрію.

Таблиця 4.7 – Склад флюсів для холодного зварювання чавуна

Марка флюса	Состав, % (по масе)			
	Бура технічна	Карбонат натрію	Нітрат натрію	Карбонат літію
ФЧН-1	23	27	50	—
ФЧН-2	18	25	56,5	0,5

Холодне дугове зварювання деталей чавуну здійснюється спеціальними електродами типу ОЗЧ-1, МНЧ-1, ЖНБ-1, ЦЧ-4 та іншими з фтористо-кальцієвим покриттям типу УОНИ-13/55.

Стрижень електроду ОЗЧ-1 виготовляють із міді М-2 або М-3. Для електрода МНЧ-1 використовується монель-метал (63% Ni, 37% Cu), для електрода ЖНБ-1 – сплав містить 55% Ni і 45% Fe.

Зварювання цими електродами здійснюється постійним струмом зворотної полярності і невеликими (20–30 мм) ділянками короткою дугою з проковуванням кожної ділянки і відновленням зварювання після охолодження шва до 50–60°C. Холодне зварювання чавуну рекомендується виконувати електродами діаметром 3-4 мм при напрузі 20–25 В і силі струму 120–150 А.

Напівавтоматичне зварювання сірого і ковкого чавуну можна виконувати самозахисним електродним дротом ПАНЧ-11 і ПАНЧ-12 на основі нікелю, розробленим Інститутом електрозварювання імені Е.О. Патона АН України (табл. 4.8).

Таблиця 4.8 - Склад зварювального дроту ПАНЧ-11 і ПАНЧ-12, % (за масою)

Назва складових	ПАНЧ-11	ПАНЧ-12
Нікель	80	Решта
Мідь	2 -3	2 -3
Марганець	1-4	1 – 4
Рідкоземельні елементи	0,1 -0, 5	0,1 --0,5
Залізо	Решта	25—28

З цією метою застосовують зварювальний напівавтомат А-547-У. Діаметр дроту 1,4 мм. Режим зварювання: сила струму 100-140 А; напруга 14-18 В; швидкість зварювання 0,09 – 0,15 м/хв.

Особливості зварювання деталей з ковкого чавуну. Ковкий чавун володіє найбільшою схильністю до відбілювання, так як при високій температурі зварювання відбувається розчинення вуглецю відпалу в залізі, а при охолодженні деталі виділення його у вигляді твердого карбїду заліза – цементиту Fe_3C , тобто ковкий чавун переходить в білий, втрачаючи пластичність і надаючи шву крихкість.

Для запобігання відбілюванню ковкого чавуну зварювання потрібно виконувати при більш низькій температурі, ніж температура розпаду вуглецю ві-

дпалу, тобто нижче 950 °С приблизно на 50 °С. Найкращі результати можуть бути отримані при застосуванні спаювання-зварювання латунними електродами марок ЛЮМНА-54-10-4-0; ЛЮК-59-1-03 і Л-62 ($t_{пл.} = 880^{\circ}\text{C}$) ацетилено- кисневим полум'ям з використанням флюсу ФПСН-2, який містить 50 % борної кислоти, 25% карбонату літію, 25% карбонату натрію. Температура підігріву - 700-750°С.

4.5. Відновлення зварюванням деталей з алюмінієвих сплавів

Способи зварювання деталей з алюмінієвих сплавів. Із алюмінієвих сплавів виготовляються складні корпусні деталі, блоки і головки циліндрів автомобілів та інші деталі.

Для лиття зазначених деталей застосовується алюмінієво- кремнієвий сплав марки АЛ-4 (силумін), який належить до числа модифікованих термічно оброблених силумінів (загартування у воді при температурі 535 °С з витримкою 2-6 годин і старінням при температурі 175 °С протягом 12 годин). Алюмінієві сплави характеризуються поганим зварюванням.

Характерними дефектами автомобільних деталей з алюмінієвих сплавів є тріщини між гніздами під свічки, між отворами під шпильки кріплення головок, пробійни в стінках та ін.

Основні труднощі відновлення деталей зварюванням з алюмінієвих сплавів полягають у тому, що Al при зварюванні інтенсивно окислюється і на його поверхні утворюється тугоплавка плівка оксиду Al_2O_3 , температура плавлення якої 2160 °С, тоді як температура плавлення самого алюмінію – 659 °С.

Оксидна плівка перешкоджає зплавленню основного і наплавленого металу і забруднює шов. Крім того, високий коефіцієнт лінійного розширення (в 2 рази більший, ніж у сталі) і велика теплопровідність (в 3 рази більше, ніж у сталі) сприяють появі значних залишкових напружень в зварюваних деталях і утворенню тріщин по шву або в навколошовній зоні. Велика розчинність водню в розплавленому металі призводить до утворення в ньому пор.

Ускладнює процес зварювання алюмінію також його велика рідкотекучість і складність визначення початку плавлення, так як алюміній при нагріванні не змінює свого кольору.

Відновлення деталей зварюванням з алюмінієвих сплавів здійснюється одним з наступних способів:

- аргонодуговим зварюванням;
- ручним дуговим зварювання плавким або неплавким електродом;
- газовим зварюванням із застосуванням флюсів.

Аргонодугове зварювання вольфрамовим неплавким електродом на установках типу УДАР-500, УДК-301, УДГ-501 отримало широке розповсюдження. Аргонодугове зварювання засноване на використанні теплоти, що виділяється при горінні електричної дуги між основним металом виробу 1 (рис. 4.2) і вольфрамовим електродом 2, який має температуру плавлення близько 3500 °С в захисному середовищі інертного газу аргону. Присадочним матеріалом може бути алюмінієвий дріт із вмістом 5–6% кремнію, а також дріт Св–АК5 або Св–АК10. Зварювання ведуть найчастіше змінним струмом або постійним зворот-

ньої полярності. В останньому випадку із-за високої температури анода буде підвищена витрата вольфрамового електрода. Сила струму 30-50 А/мм діаметра електрода.

Для закріплення вольфрамового електрода і подачі захисного газу в зону горіння дуги застосовуються пальники типу ГРАД-200 і ГРАД-400. Аргонодугове зварювання забезпечує підвищення продуктивності праці в 3-4 рази в порівнянні з ацетиленокисневим.

Відновлення деталей з алюмінієвих сплавів (блоків і головок циліндрів) можна виконувати електродуговим способом на постійному струмі зворотної полярності.

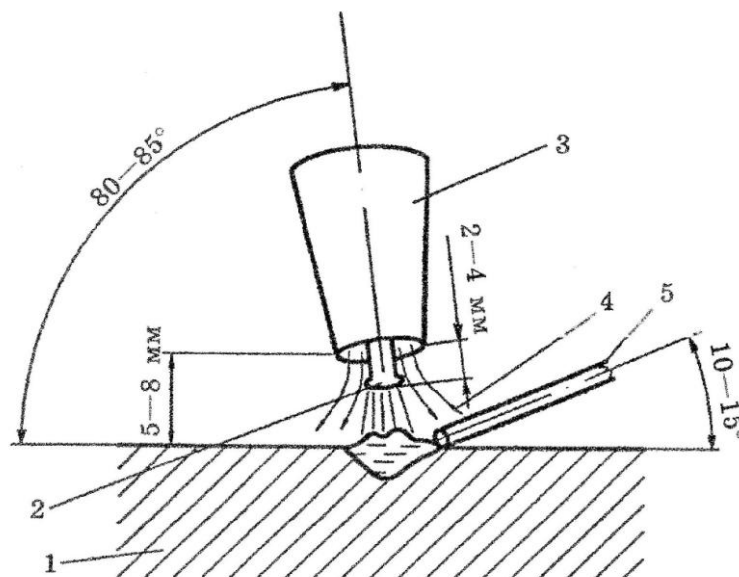


Рис. 4.2 – Схема горіння дуги в середовищі захисного газу аргону:
1- деталь; 2- вольфрамовий електрод; 3- горілка; 4- захисний газ; 5- присадочний дріт.

При зварюванні алюмінієвих сплавів А6, АДО, АД1, АД2 застосовують електроди ОЗА-1 і флюс АФ-4А; при зварюванні сплавів АМц і АЛ9 – електроди А2; при зварюванні силумінів АЛ2, АЛ4, АЛ5, АЛ9П і АЛ 11 використовують електроди ОЗА-2. Серцевину електрода ОЗА-2 виготовляється з дроту Св-АК3 або Св-АК10 за ГОСТ 7871-75 з покриттям наступного складу: 65 % флюсу АФ-4А, 25 % криоліту Na_3AlF_6 , 9 % хлориду калію KCl , 1 % губчастого титану і зв'язуючого розчину карбоксиметилцелюлози (12-14% до суми компонентів). Склад флюсу АФ-4А: NaCl -28 %; KCl -50 %; LiCl -14 % ; NaF - 8 % .

Газове ацетиленокисневе зварювання виконують нейтральним полум'ям з використанням флюсів АФ-4А, АН-4А та інших із застосуванням у якості присадочного матеріалу дроту того ж складу, що й основний метал. Потужність пальника вибирають із розрахунку 100-120 л/год горючого газу на 1 мм товщини металу.

Набуло поширення також зварювання деталей з алюмінієвих сплавів з застосуванням ультразвуку, що сприяє руйнуванню оксидної плівки.

У ряді випадків деталі з силуміну перед зварюванням підігрівають до $t = 200-250^\circ\text{C}$, що запобігає викривленню і утворення тріщин. Після зварювання

деталі піддають відпалу при $t = 300-350\text{ }^{\circ}\text{C}$ для зняття внутрішніх напружень і покращення структури наплавленого металу.

4.6 Відновлення деталей автоматичним наплавленням під флюсом

Сутність процесу. Ідея зварювання під флюсом вперше була запропонована Н. Г.Славяновим. Теорія і практика процесу автоматичного зварювання і наплавлення були розроблені колективом Інституту електрозварювання під керівництвом академіка Е. О. Патона.

Схема електродугового наплавлення під флюсом наведена на рис. 4.3. При зварюванні і наплавленні деталей під флюсом на відміну від наплавлення відкритою дугою електрична дуга горить під шаром розплавленого флюсу, утворюючи на поверхні шва шлакову кірку. При цьому в зоні зварювання створюється надлишковий тиск газів, які разом з розплавленим флюсом перешкоджають доступу повітря до розплавленого металу.

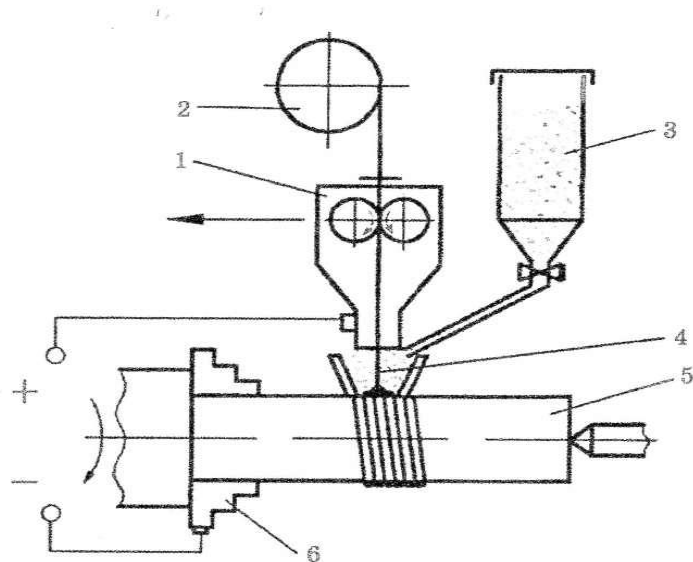


Рис. 4.3. Принципова схема електродугового наплавлення деталей під флюсом: 1 – наплавлююча голівка; 2 – касета з електродним дротом; 3 – бункер з флюсом; 4 – електродний дріт; 5 – відновлювана деталь; 6 – патрон токарного верстату

Наплавлення під флюсом забезпечує найвищу якість наплавленого металу, так як зварювальна ванна захищена від шкідливого впливу кисню й азоту повітря. Окрім того, повільне охолодження металу під флюсом сприяє більш повному видаленню з рідкого металу газів і шлакових включень, що також сприяє поліпшенню якості шва.

Повільне охолодження наплавленого металу забезпечує більш сприятливі умови для протікання дифузійних процесів і легування металу через електродний дріт і флюс.

Перевагою зварювання і наплавлення під флюсом є також відсутність розбрикування металу завдяки статичному тиску флюсу і відсутності реакції відновлення оксидів заліза вуглецем з утворенням вуглекислого газу, оскільки відсутнє окиснення металу. В результаті виконання флюсом своїх функцій створюються умови для досягнення високого термічного ККД наплавлення.

На рис. 4.4 наведена схема формування покриття при наплавленні циліндричної поверхні під шаром флюсу.

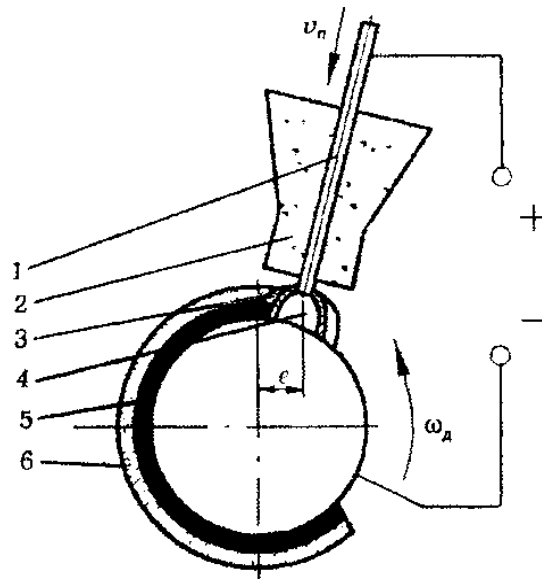


Рис 4.4 – Схема наплавлення під шаром флюсу:

1- електрод; 2 – бункер з флюсом; 3 – оболонка розплавленого флюсу; 4 – газова бульбашка; 5 – наплавлений метал; 6 – шлакова кірка; ϵ – зміщення електрода з зеніту; v_n – швидкість подачі дроту; ω_d – кутова частота обертання деталі

Автоматичне наплавлення під флюсом відрізняється високою продуктивністю процесу. Коефіцієнт наплавлення в 1,5 рази вищий, ніж при ручному наплавленні, і становить $\alpha_n = 14-15$ г/А·год. Продуктивність процесу в залежності від величини зварювального струму коливається в межах 1,5-10,0 кг/год. Товщина шару наплавленого металу в залежності від режиму може бути отримана в межах 0,5-5,0 мм.

Матеріали і режим наплавлення. Фізико-механічні властивості наплавленого металу під флюсом в значній мірі залежать від вибору електродного дроту й флюсу. Для наплавлення деталей, виготовлених з вуглецевих сталей 30, 40, 45, застосовують вуглецевий дріт Нп-30, Нп-40, Нп-50, Нп-65 або дріт з низьколегованої сталі (Нп-3ОХГСА). Для наплавлення відповідальних деталей з високою поверхневою твердістю застосовується дріт Нп-2Х14, Нп-3Х13, Нп-30ХГСА та ін.

Найбільш часто використовують плавкі флюси АН-348А; АН-20; АН-30; ОСЦ-45 або керамічні флюси АНК-18; АНК-19.

Легування наплавленого металу через флюс відбувається введенням в нього легуючих компонентів: ферохрому, феромарганцю, феросиліцію, феротитану. Але цей спосіб легування, не дивлячись на його економічні переваги, має обмеження внаслідок великої нерівномірності наплавленого металу за хімічним складом і необхідності суворого витримування режиму наплавлення так як можливе утворення наплавочних тріщин в покритті.

При легуванні через порошковий дріт наплавлений метал отримують з більш рівномірним хімічним складом.

Для наплавлення деталей з більшим зношуванням застосовується автоматичне наплавлення порошковим дротом під флюсом або відкритою дугою без додаткового захисту. При цьому рекомендують наступні марки дроту: ПП – АН106; ПН – АН-124; ПП-3Х5Г2М-0; ПП-3Х13-0; ПП-25Х5ФМС-0. Найбільше застосування отримав комбінований спосіб легування через флюс і дріт.

На фізико-механічні властивості наплавленого матеріалу значно впливає режим наплавлення, який визначається наступними параметрами: діаметром електроду, напругою дуги, силою зварювального струму, швидкістю наплавлення, швидкістю подачі дроту, вильотом електрода, кроком наплавлення, зміщенням електрода із zenіту.

Діаметр дроту електрода вибирають в залежності від діаметру наплавляємої деталі. При наплавленні автомобільних деталей застосовують дріт діаметром 1,6 – 2,5 мм.

Силу струму (I, А) вибирають в залежності від діаметра електрода (d_e , мм) за таблицями або наближено за формулою:

$$I = 110 \cdot d_e + 10 \cdot d_e^2.$$

При відновленні деталей застосовують постійний струм зворотної полярності напругою 25 – 35 В.

Швидкість наплавлення (v_n , м/год) вибирають в межах 12–45 м/год або визначають за формулою:

$$v_n = \frac{\alpha_n \cdot I}{G},$$

де G – маса 1 м наплавки, г.

Із збільшенням швидкості наплавлення зменшується ширина наплавленого валика і глибина проплавлення.

Швидкість подачі дроту (v_n , м/год або м/хв.) вибирають в залежності від діаметру електрода і сили струму або визначають за формулою:

$$v_n = \frac{4 \cdot \alpha_n \cdot I}{\pi \cdot d_e^2 \cdot \gamma} \quad \text{або} \quad v_n = \frac{\alpha_n \cdot I}{15 \cdot \pi \cdot d_e^2 \cdot \gamma},$$

де γ – густина наплавленого металу, г/см².

Для електродного дроту $d_e=1,6-2,0$ мм при силі струму $I = 140-360$ А і $\alpha_n=14-16$ г/А·год, швидкість подачі дроту змінюється в межах 75-180 м/год.

Виліт електроду залежить від сили струму і становить 10-25 мм.

Крок наплавлення S в межах 3 – 6 мм вибирають в залежності від потрібної товщини шару h , сили струму і напруги.

Зміщення електроду e з zenіту в сторону протилежну напрямку обертання деталі встановлюють в залежності від діаметру деталі: для деталей діаметром 50 – 150 мм $e = 3 – 8$ мм.

Частота обертання деталей:

$$n = 250 \cdot \frac{v_n \cdot d_e^2}{h \cdot s \cdot D} \cdot \eta,$$

де v_n – швидкість подачі електродного дроту, м/хв;

h – товщина наплавленого шару, мм;

s – крок наплавлення, мм/об;

D – діаметр деталі, мм;

η – коефіцієнт переходу металу електроду в основний метал. Для наплавлення під флюсом можна прийняти $\eta = 1,0$.

Підвищення продуктивності процесу і менше вигорання легуючих елементів у вихідних матеріалів забезпечує багатоелектродне наплавлення під шаром флюсу (рис. 4.5). При цьому блукаюча дуга горить між заготовкою і найближчим до неї електродом, що дозволяє наплавлювати деталі із значним зносом на великій площі.

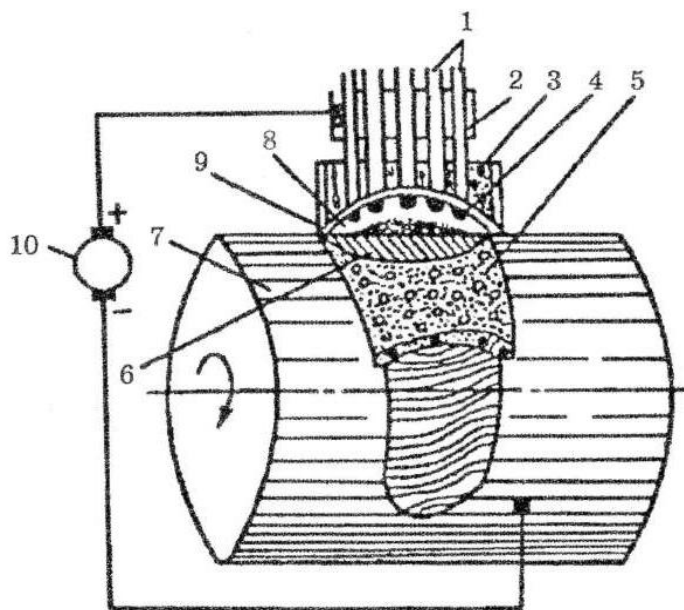


Рис.4.5. Багатоелектродне наплавлення під шаром флюсу:

1 – електроди; 2 – струмопідвідний контакт; 3 – флюс; 4 – електрична дуга; 5 – шлакова кірка; 6 – наплавлений метал; 7 – відновлювана деталь; 8 – газова бульбашка; 9 – оболонка розплавленого флюсу; 10 – джерело струму

Обладнання і характер способу. Автоматичне наплавлення деталей під флюсом виконується на спеціальних установках У-51, У-52, У-653 або наплавлювальними апаратами типу А-580М, ПАУ-1, УАНФ-3 та інші. Для живлення наплавлювальних установок струмом застосовують перетворювачі постійного струму ПСО-500 (укомплектований апарат А-580М) чи ПСУ-500 (укомплектований ПАУ-1). Наплавлювальні головки А-580М і ПАУ-1 встановлюються на супорті переобладнаного токарного верстату оснащеного редуктором для пониження частоти обертання деталі.

Інститутом електрозварювання ім. Є. О. Патона, розроблені спеціальні наплавлювальні верстати: У-465 – для наплавлення циліндричних і шліцьових поверхонь; У-427 – для наплавлення шийок колінчатих валів; У-425 – для наплавлення зовнішніх і внутрішніх поверхонь.

Основними перевагами способу відновлення деталей наплавленням під флюсом є:

♦ підвищення продуктивності процесу в 6 – 8 разів за рахунок застосування більших щільностей струму і більш високого, ніж при ручному коефіцієнта наплавлення;

◆ економічність процесу через відсутність втрат електроенергії на випромінювання світла і тепла та економії електродного матеріалу (ККД електричної дуги під флюсом 0,86–0,92, втрати електродного матеріалу на вигорання і розбризкування 5 %, у той час як ККД відкритої дуги 0,4, а втрати металу – 25 %);

◆ можливість отримання великої товщини шару металу (1,5–5,0 мм), що дозволяє відновлювати деталі з великим зносом;

◆ рівномірність шару і невеликі припуски на обробку;

◆ висока якість наплавленого металу завдяки надійному захисту від впливу повітря і за рахунок легування металу;

◆ поліпшення умов праці зварювальників за рахунок відсутності ультрафіолетових випромінювань.

До недоліків процесу, слід віднести:

◆ інтенсивне нагрівання деталі при наплавленні, яке змінює результати попередньої термічної обробки;

◆ неможливість наплавлення деталей малого діаметру (менше 40 мм) із-за стікання металу і труднощі утримання флюсу;

◆ необхідність трудомісткого видалення шлаків кірки;

◆ зниження втомної міцності деталей до 20 – 40 % за рахунок залишкових напружень, пористості і структурної неоднорідності.

4.7. Відновлення деталей зварюванням і наплавленням в середовищі захисних газів.

Суть способу. Спосіб зварювання в середовищі захисних газів розроблено в 1952 р. Суть способу полягає в тому, що в зону горіння електричної дуги під тиском подається захисний газ, який, відтісняючи повітря, захищає розплавлений метал зварювальної ванни від шкідливого впливу на нього кисню та азоту.

Зварювання в захисних газах може виконуватися плавким електродом і неплавким електродами (вугільним або вольфрамовим). У авторемонтному виробництві знайшли застосування автоматичне та напіваавтоматичне зварювання і плавким і неплавким електродами.

При зварюванні і наплавленні плавким електродом електродний дріт подається в зону горіння дуги через спеціальну газоелектричну горілку, до якої підводяться електричний струм і захисний газ (аргон, гелій, вуглекислий газ, водень, водяний пар та їх суміші).

В якості захисних газів найбільше застосування отримали вуглекислий газ (CO_2) і аргон. Схема наплавлення в середовищі CO_2 наведена на рис. 4.6.

Зварювання і наплавлення в середовищі CO_2 , як правило, ведуть при постійному струмі зворотньої полярності. Це забезпечує стійкість процесу.

Живлення вуглекислим газом здійснюється за схемою: балон – підігрівач – осушувач – понижувальний редуктор – витратомір – наплавлювальна головка (1 балон вуглекислоти (25 л) дає 10–12 м³ CO_2 ; з 1 кг утворюється 509 л CO_2).

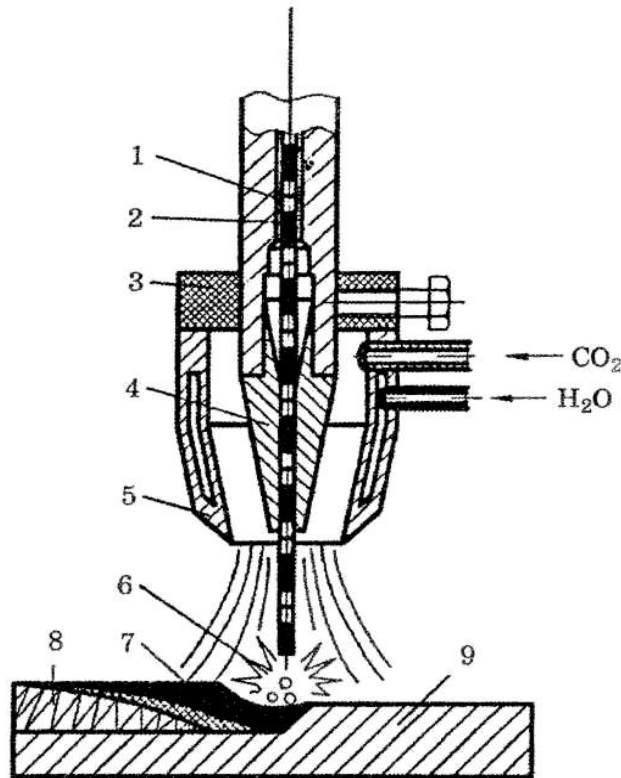


Рис. 4.6 Схема наплавлення в середовищі вуглекислого газу:

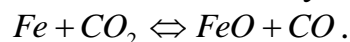
1 – мундштук; 2 – електродний дріт; 3 – пальник; 4 – наконечник; 5 – сопло пальника; 6 – електрична дуга; 7 – зварювальна ванна; 8 – наплавлений метал; 9 – відновлювана деталь

Вуглекислий газ здійснює подвійну дію на якість зварного з'єднання. З одного боку, CO_2 захищає розплавлений метал від шкідливого впливу кисню й азоту повітря, а з іншого боку, під дією високої температури дуги CO_2 дисоціює на оксид вуглецю CO і атомарний кисень O : $\text{CO}_2 \rightarrow \text{CO} + \text{O}$ і окислює розплавлений метал.

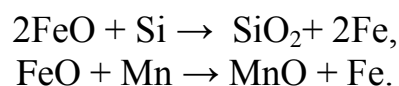
Оксид вуглецю також частково дисоціює на C і O : $\text{CO} \rightarrow \text{C} + \text{O}$.

Атомарний кисень володіє високою хімічною активністю і здатний окислювати всі елементи, що входять до складу електродного дроту й основного металу, у тому числі і залізо.

У загальному вигляді реакція окислення відбувається за рівнянням



Матеріали для зварювання і наплавлення. Для усунення шкідливого впливу реакцій окислення необхідно при зварюванні застосовувати розкислювачі, в якості яких виступають кремній, марганець, титан, хром. З цією метою застосовується спеціальний зварювальний дріт з підвищеним вмістом кремнію ($\text{Si} \geq 60\%$) і марганцю ($\text{Mn} > 0,90\%$), які є активними розкислювачами, оскільки володіють великою спорідненістю з киснем і відновлюють залізо з його оксидів:



Зважаючи на те, що при цьому способі флюси і покриття відсутні, завдання розкислення і легування металу зварювальної ванни можна вирішити тільки підбором електродного дроту відповідного хімічного складу. У зв'язку з цим для зварювання і наплавлення поверхонь застосовується дріт діаметром 0,5–2,0 мм наступних марок: Св–08ГС, Св–08Г2СА, Св–10ГС, Св–12ГС, Св–18ХГСА, Св–30ХГСА, Нп–30ХГСА (для наплавлення зношених деталей). Окрім того, використовується порошковий дріт марок ПП–Р18Т, ПП–Р9Т, ПП–Х2В8Т та ін. Відповідальні деталі з твердістю робочих поверхонь 45–55 НРС наплавляють дротом Нп–30ХГСФ діаметром 1,2–1,8 мм із подальшим загартовуванням струмами високої частоти (СВЧ).

Устаткування. Для напівавтоматичного зварювання в середовищі CO₂ широко використовуються напівавтомати: А–537, А–547, А–547У, А–547Р, А–1035М, ПДГ–301, ПДПГ–500 та ін.

В якості наплавлювальних автоматів зазвичай використовують переобладнаний апарат А–580, який випускається для наплавлення під флюсом, а також наплавлювальні головки: ОКС–6569; ОКС–1252А і ПАУ–1, укомплектовані джерелом струму ПСУ–500. В якості джерел струму при зварюванні в середовищі захисних газів рекомендуються також випрямлячі ВСГ–3А, ВСГ–3М і зварювальні перетворювачі ПСГ–300, ПСГ–350, ПСГ–500.

Для наплавлення зовнішніх циліндричних поверхонь деталей самозахисним порошковим дротом ПП–АН–122 з успіхом застосовують установку УД–209.

Режими та особливості. Режим зварювання характеризується силою зварювального струму, напругою дуги, діаметром електродного дроту, швидкістю зварювання і вильотом електрода.

Таблиця 4.9 - Параметри зварювання у вуглекислому газі

Товщина основного металу, мм	Режим зварювання					
	Сила струму, А	Напруга, В	Швидкість зварювання, м/год	Витрати газу, л/хв	Діаметр дроту, мм	Виліт електроду, мм
1	30-50	17 – 18	20 – 25	6 – 7	0,5 – 0,7	5 -8
2	110-140	19 - 20	20 – 30	6 – 7	0,8	7 – 12
3- 4	140 - 160	20 - 21	20 – 30	7 – 9	1,0	8 -13
5- 8	180- 220	23 - 26	20 – 35	12 – 15	1,6	15 – 20
9-12	280 300	28 - 30	25 - 30	15 - 17	2,0	20 - 25

При підвищенні напруги збільшується довжина дуги, відповідно зростає шлях крапельного переносу металу через дуговий проміжок, що сприяє інтенсивності його окислення і вигоряння Si і Mn. Низька напруга дуги викликає надмірне посилення швів і високі надрізи.

Твердість наплавленого металу дротом Св–08Г2С деталей із сталі 40, 40Х і 45 становить 230–290 НВ, а після термообробки – 39–41 НРС. Наплавлення дротом Св–10Х13 дає твердість без термообробки 48–50 НРС, дротом Нп–2Х14 – 50 – 52 НРС.

У авторемонтному виробництві окрім ручного використовується *напівавтоматичне і автоматичне наплавлення* у середовищі захисних газів при відновленні широкої номенклатури деталей трансмісії і ходової частини автомобілів, а також зварювання деталей зі сплавів алюмінію і тонколистової сталі при ремонті кабін, кузовів.

Основними перевагами напівавтоматичного і автоматичного зварювання і наплавлення у середовищі захисних газів є: висока продуктивність завдяки більш повному використанні тепла зварювальної дуги (у 1,2–1,5 рази вище, ніж при наплавленні під флюсом, і в 3–5 разів вище, ніж при ручному); висока якість наплавленого металу і зварних швів; відсутність потреби в очищенні шва від шлаків, що особливо важливо при багатошаровому наплавленні; можливість зварювання (наплавлення деталей) будь-якої товщини і діаметра; можливість спостереження за ходом зварювання й наплавлення, що забезпечує точність накладки шва; значне зменшення жолоблення металу при відновленні деталей з тонколистової сталі завдяки охолоджувальному дії захисного газу.

Впровадження напівавтоматичного зварювання в середовищі CO_2 у виробництво при ремонті кабін, кузовів знижує обсяг ручних робіт на 60 %.

До недоліків способу можна віднести: втрати металу до 5 – 10% за рахунок підвищеного розбризкування; зниження утомної міцності на 10–20% і зниження в окремих випадках зносостійкості; обмежені можливості легування металу наплавленого шару (тільки за рахунок підбору електродного дроту).

Перспективним є спосіб автоматичного наплавлення деталей в середовищі CO_2 з направленим охолодженням, при якому на наплавлений метал, коли температура його дорівнює або вище температури загартування, подається охолоджуюча рідина (5% -ний розчин кальцинованої соди у воді), що забезпечує загартовування нанесеного шару.

4.8. Відновлення деталей вібродуговим наплавленням

Сутність процесу. Процес вібродугового наплавлення являє собою різновид автоматичного наплавлення металу вібруючим електродом в струмені охолоджуючої рідини і вперше був запропонований інженером Г.П. Клековкіним в 1950-1952 рр.

Схема установки для вібродугового наплавлення деталей наведена на рис. 4.7. Сутність процесу наплавлення полягає в наступному. До наплавляємої поверхні деталі 1, що обертається роликками 5 з касети 6 через вібруючий мундштук 9 подається електродний дріт 10. Вібрація мундштука з частотою 50–100 Гц здійснюється за допомогою електромагнітного вібратора 7 і пружини 8. Внаслідок вібрації відбувається замикання і розмикання зварювального ланцюга між електродним дротом і деталлю та холостий хід.

У момент короткого замикання зварювального ланцюга напруга різко падає до нуля, а сила струму зростає до максимальної величини. При розмиканні зварювального ланцюга напруга між електродами швидко підвищується до 24–30 В і відбувається дуговий розряд, в результаті якого електродний дріт оплавлюється і у вигляді крапель переноситься на поверхню деталі.

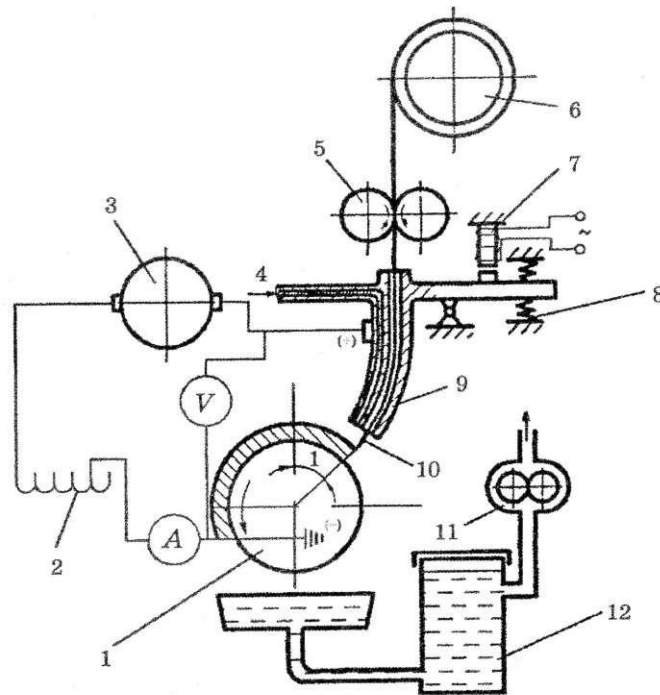


Рис. 4.7 Схема установки для вібродугового наплавлення деталей

Електричний струм від джерела 3 підводиться до деталі через ковзний контакт. Для підвищення стійкості і тривалості дугового розряду у зварювальний ланцюг включають індуктивний опір 2. У зону наплавлення металу через канал 4 за допомогою насоса 11 подається охолоджувальна рідина з фільтру-відстійника 12, в результаті чого відбувається загартування наплавленого металу. В якості охолоджувальної рідини рекомендується застосовувати 4–6-відсотковий розчин кальцинованої соди або 10–20% -ий водяний розчин технічного гліцерину.

Для отримання наплавленого металу більш високої якості вібродугове наплавлення рекомендується здійснювати при постійному струмі зворотної полярності, так як міцність зчеплення наплавленого металу з основним металом деталі значно вища, ніж при напавленні на змінному струмі.

Основні параметри технологічного процесу. Амплітуда коливання (A , мм) електродного дроту може бути визначена з залежності:

$$A = (1,2-1,3)d_e.$$

Виліт електрода l :

$$l = (5-8) d_e.$$

Діаметр електродного дроту вибирається відповідно до товщини наплавленого шару, значення якого призначається залежно від зносу деталі і припуску на подальшу механічну обробку. Найчастіше застосовується дріт діаметром 1,2–2 мм.

Для забезпечення високої твердості (51–56 HRC) і зносостійкості поверхневого шару відновлюваної деталі застосовують дріт типу Нп–80, Нп–65Г, Нп–50Г; для деталей з твердістю 35–40 HRC – дріт типу Нп–30ХГСА, Нп–30ХЗВА,

Нп–40, Нп–50, а для деталей з твердістю до 300 НВ – дріт Св–10Г, Св–Г2С та ін.

При відновлення деталей, що мають форму тіл обертання, застосовується токарний верстат з понижувальним редуктором, який забезпечує частоту обертання деталі до 8 хв^{-1} .

У авторемонтному виробництві широкого поширення набула наплавлювальна головка УАНЖ–6, яка забезпечена змінними мундштуками для наплавлення зовнішніх та внутрішніх поверхонь і шліців. Для вібродугового наплавлення деталей застосовуються також і інші конструкції головок: КУМА–5М, ВДГ–5М, ОКС–1252А.

До важливих параметрів, що характеризують режим наплавлення, відносяться також швидкість подачі електродного дроту, крок наплавлення (поздовжня подача головки), витрата охолоджуючої рідини та ін.

Швидкість наплавлення (v_H , м/хв) можна визначити за формулою:

$$v_H = \frac{0,78 \cdot d_e^2 \cdot v_{np} \cdot \eta}{hs},$$

де v_H – швидкість подачі дроту, м/хв (може змінюватися в межах 0,5–3,5 м/хв);

η – коефіцієнт переходу електродного металу в наплавлений шар ($\eta = 0,85–0,90$);

h – товщина напавленого металу, мм (може бути отримана в межах 0,8–3,5 мм);

s – крок наплавлення, мм/об, що залежить від діаметра дроту (приймають в межах 2,0–3,0 мм/об).

Висока якість напавленого металу може бути отримана при швидкості наплавлення, яка визначається із залежності

$$v_H = (0,4 - 0,7)v_{np}.$$

Частота обертання деталі при напавленні визначається за виразом

$$n = \frac{10^3 \cdot v_H}{\pi D},$$

де D – діаметр деталі, мм.

Витрата охолоджуючої рідини становить 0,3 – 0,8 л/хв.

Застосування захисного середовища дозволяє поліпшити механічні властивості напавленого металу і умови роботи зварювальника.

Основною перевагою способу відновлення зношених поверхонь деталей вібродуговим напавленням є невеликий нагрів деталі в процесі напавлення (близько $100 \text{ }^\circ\text{C}$), мала зона термічного впливу і можливість отримання напавленого шару металу з необхідною твердістю та зносостійкістю без додаткової термообробки. Продуктивність в 4–5 разів вище, ніж при ручному напавленні.

Основні параметри технологічного процесу вібродугового напавлення деталей із застосуванням охолоджувальної рідини наведені в табл. 4.10 і 4.11.

Таблиця 4.10 - Рекомендовані параметри вібродугового наплавлення сталевих деталей

Діаметр деталі, мм	Товщина шару наплавляемого металу, мм	Діаметр електродного дроту, мм	Сила струму, А	Швидкість наплавлення, м/хв	Швидкість подачі електродного дроту, м/хв	Витрати охолоджувальної рідини, л/хв	Крок наплавлення, мм/об	Амплітуда вібрації дроту, мм	Кут подачі дроту до деталі
До 20	0,3	1,6	120-150	2,2	0,6	0,2	1,0	1,5	35
20 -40	0,7	1,6	120-150	1,2	0,4	0,4	1,3	1,8	35
40- 60	1,1	2,0	150-210	1,0	0,8	0,5	1,6	2,0	45
60-80	1,5	2,0	150-210	0,6	1,0	0,6	1,8	2,0	45
80-100	2,5	2,5	150-210	0,3	1,1	0,7	2,0-3,0	2,0	45

Таблиця 4.11 - Рекомендовані режими вібродугового наплавлення чавунних деталей

Наплавлюваний матеріал	Товщина наплавляемого шару, мм	Швидкість подачі електродного дроту, м/хв	Сила струму, А	Частота обертання деталі, хв	Крок наплавлення, мм/об	Припуск на механічну обробку на сторону, мм
Дріт Ø 1,6 – 1,8 мм	0,6 -0,7	1,3	120- 140	382/ <i>D</i>	1,8 -2,2	0,4
	1,5	1,7	160- 190	318/ <i>D</i>	2,3- 2,8	0,8
	2,5-3,0	1,7	160 - 190	118/ <i>D</i>	2,8 -3,5	1,0
Дріт Ø 2,5 мм	2,5- 3,0	1,7	300 -350	64/ <i>D</i>	3,3-3,4	1,0
Смуга перерізом 0,5×10 мм	2,5-3,0	1,7	320- 340	64/ <u><i>D</i></u>	7,9	1,0

D – діаметр наплавляємої деталі, мм.

У табл. 4.12 наведено режим вібродугового наплавлення в середовищі вуглекислого газу.

Таблиця 4.12 Режим вібродугового наплавлення в середовищі вуглекислого газу

Товщина наплавляемого шару, мм	Діаметр електродного дроту, мм	Зварювальний струм, А, для діаметра дроту		Робоча напруга, В, для діаметра дроту	
		мінімального	максимального	мінімального	максимального
1,0	1,0- 2,0	75 -175	150- 300	17 -20	20- 24
1,5	1,2 -2,2	92- 225	165 - 375	18-21	21 -25
2,0	1,4 -2,5	100 - 250	190 - 400	18-22	22 -26
2,5	1,6- 2,5	120 - 300	190 -400	19-23	22-26
3,0	2,0-2,5	150 -350	190 -400	20- 24	22- 26

Проте разом з перевагами спосіб вібраційного наплавлення має і недоліки. До них можна віднести неоднорідність структури і твердості наплавляемого металу, а також можливість утворення пор і мікротріщин по межах покриття окремих валиків. Тому в покритті утворюється внутрішнє розтягуюче напруження, яке знижує втомну міцність деталей на 30—40%. Процес вібродугового наплавлення широко застосовують при відновленні сталевих деталей (осей,

штовхачів), працюючих в умовах зношування при невисоких вимогах до втомної міцності.

4.9. Перспективні способи наплавлення

Плазмове наплавлення. При плазмовому напавленні джерелом теплової енергії являється плазмовий струмінь. В якості плазмоутворюючого газу застосовують аргон або аргоноповітряну суміш, що значно зменшує вартість процесу наплавлення. Аргоновий плазмовий струмінь має найбільш високу температуру до 15—20 тис. °С. Швидкість витікання струменя складає 1000—1200 м/с.

Процес протікає з малим проплавленням заготовки, а товщину покриття можна отримати 0,2–6,5 мм. Наплавлення виконують або по гвинтовій лінії з безперервною подачею плазмотрону, або у вигляді широкошарового наплавлення з коливаннями плазмотрона уздовж осі деталі, що обертається.

Для плазмового наплавлення використовують високолеговані сплави і інструментальні сталі у вигляді дроту, порошків і в комбінації матеріалів. Широко застосовують порошки сплавів, що самофлюсуються, на основі нікелю ПР-Н73Х16СЗР3 або ПР-Н70Х17С4Р4. Порошковий матеріал ПР-Х4Г2Р4С2ФЮД забезпечує твердість покриття 58-60 HRC.

Застосування порошків дозволяє змінювати в широких межах товщину покриття, ширину шва і склад покриття, продуктивність наплавлення за рахунок вибору матеріалів і режимів їх нанесення. Температура поверхні деталі, що наплавляється, змінюється за рахунок теплоти попереднього підігрівання валиків розплавленого металу, що наносяться. Термічний ККД плазмового наплавлення в 2–3 рази вищий, ніж при електродуговому напавленні, а продуктивність процесу складає 0,4–5,5 кг/год.

Плазмове наплавлення застосовується для нанесення тонкошарових покриттів при відновленні колінчастих і розподільних валів, хрестовин карданних шарнірів, валів турбокомпресорів та інших відповідальних деталей.

Основними перевагами плазмового наплавлення є: досить гладка і рівна поверхня покриття, що дозволяє залишати припуск на обробку 0,4—0,9 мм. Мала глибина проплавлення і невелике вкладення теплоти в заготовку не викликає великих деформацій і термічної дії на структуру металу деталі, що наплавляється. При плазмовому напавленні забезпечується висока зносостійкість поверхонь відновлених деталей. Проте спостерігається зниження втомної міцності деталей на 10–15 %, що значно менше, ніж при використанні інших видів наплавлення.

Електромагнітне наплавлення. Суть електромагнітного наплавлення полягає в нанесенні покриття з феромагнітного порошку, що утримується силами магнітного поля, під час пропускання постійного струму великої сили через зони контакту часток порошку між собою і деталлю.

До полюсного наконечника і деталі підводять напругу. Покриття утворюється за рахунок нагріву часток порошку, їх оплавлення і закріплення на відновлюваній поверхні. При цьому питома потужність досягає значень 50–5000 кВт/см².

Покриття з високохромистого чавуну С-300 та із швидкорізальних сталей Р6М5К5 і Р6М5Ф3 мають хорошу оброблюваність і високу зносостійкість.

На рис. 4.8 наведена схема пристрою для електромагнітного наплавлення.

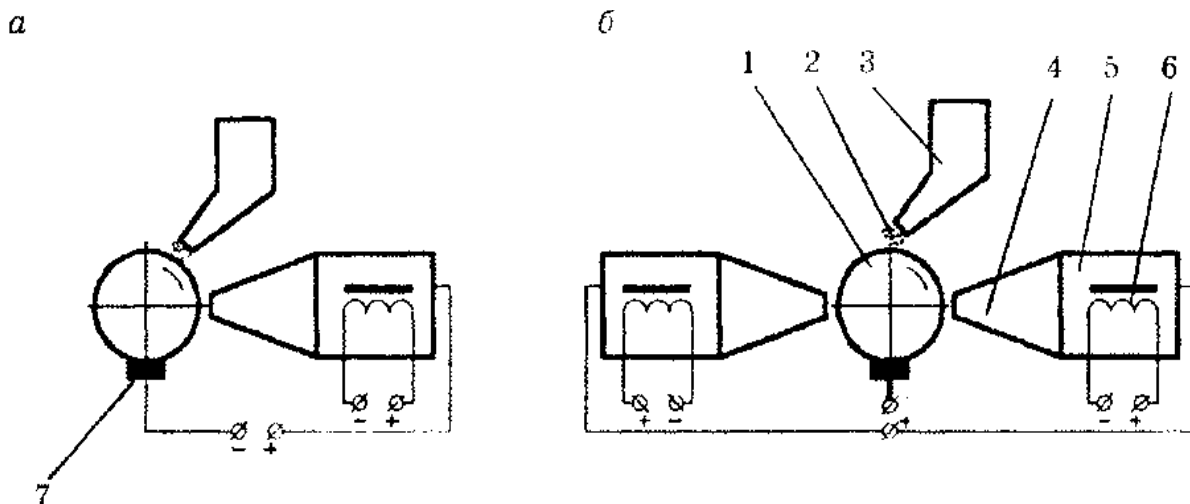


Рис. 4.8. Схема електромагнітного наплавлення:

а — однополюсного; б — двополюсного; 1 — наплавляема деталь; 2 — порошок; 3 бункер; 4 — наконечник; 5 корпус; 6 — електромагніт; 7 цітка

Для підвищення стабільності і рівномірності покриття в робочий проміжок подають пасту, що складається з суміші порошків із зв'язкою (рідким склом) в співвідношенні (за об'ємом) 2:1. При збільшенні щільності струму до 3 А/мм^2 можна отримати покриття товщиною близько 2 мм.

Цей спосіб дозволяє поєднувати за часом процеси нанесення покриття і поверхневої пластичної деформації, що дозволяє в 1,2–1,4 рази збільшити вторму міцність і в 1,2–2,7 рази підвищити зносостійкість покриття.

Електромагнітне наплавлення застосовують для відновлення деталей зі зносом до 0,6 мм в дрібно- і середньосерійному виробництві, поєднуючи його з поверхневою пластичною деформацією.

Індукційне наплавлення. Спосіб індукційного наплавлення заснований на використанні струмів високої частоти для нагріву металу деталі і присадного матеріалу. Індукційне нагрівання забезпечує значну швидкість зростання температури (до $200 \text{ }^\circ\text{C/с}$) і високу продуктивність процесу.

Відновлювану поверхню деталі заздалегідь оброблюють для отримання необхідної форми і розмірів. На підготовлену поверхню наносять шихту з магнітного порошкоподібного твердого сплаву і немагнітного флюсу із зв'язувальною речовиною. Потім деталь разом з шихтою нагрівають в полі індуктора високочастотної установки до повного розплавлення шихти. Температура плавлення шихти має бути на $100\text{--}150 \text{ }^\circ\text{C}$ нижче температури плавлення основного металу деталі. Флюс шихти плавиться, вступає у взаємодію з оксидами і руйнує їх як на поверхні основного металу, так і на частках порошка.

В якості наплавлювальних матеріалів застосовують високолеговані тверді сплави У30Х28Н4С4 (сормайт № 1), У45Х35ГЗР2С (ФБХ-6-2), У35Х2Н5 (ні-

хард), Ж4НДХ–15–7–2 (нірезист); сплави на основі нікелю, кобальту і вольфраму; композиційні матеріали на основі карбідів вольфраму і хрому.

Залежно від товщини наплавленого металу шихта складається з 10–16 % флюсу, що містить 43–62 % борної кислоти, 30–42 % бури і 5–15% силікокальцію. Індукційне наплавлення дозволяє підвищити в 2–5 разів зносостійкість поверхні, не вимагає складного оснащення і забезпечує високу культуру виробництва.

В якості прикладу можна привести індукційне відцентрове наплавлення дзеркала гільзи циліндрів в найбільш зношеній верхній частині. Гільзу розташовують горизонтально на токарному верстаті. Всередину гільзи засипають шихту з твердого сплаву з флюсом, і деталь приводять в обертання. Потім в гільзу вводять індуктор і подають на нього високочастотну напругу. В результаті нагріву гільзи шихта розплавляється і за рахунок відцентрових сил рівномірно розподіляється по внутрішній поверхні, утворюючи зносостійке покриття. Аналогічним чином відновлюють і інші деталі.

Основні *переваги* процесу: висока якість наплавленого покриття; висока продуктивність; незначне проплавлення основного металу при високій міцності з'єднання покриття з основою.

Недоліками індукційного наплавлення є енергоємність процесу і складнощі при відновленні деталей з нерівномірним зносом.

Наплавлення наморожуванням. Суть способу полягає в твердінні матеріалу на очищеній від оксидної плівки поверхні деталі, зануреній в розплав. При цьому за рахунок різниці температур виробу і розплаву на поверхні деталі розплав твердне, утворюючи покриття. Після короткочасної витримки деталей з утвореним на її поверхні покриттям витягають з розплаву. Товщина покриття залежить від температури деталі і розплаву, а також від тривалості їх контакту і може досягати 1,5–3,0 мм.

Наплавлення виконується високолегованим чавуном У30Х28Н4С4 і У25Х26РС2, а також сумішшю КБХ і ФБХ–6–2 або псевдосплавами ПС–14–60, ПС–14–80. Вихідні матеріали нагрівають в індукційних печах до температури на 30–50 °С вищої за температуру їх плавлення. Поверхні, що підлягають відновленню, покриваються водним розчином рідкого скла і порошкоподібного флюсу, що складається з 40 % бури (по масі) і 60 % борного ангідриду. Деталь поміщають у високочастотний індуктор для активації наплавленої поверхні при температурі 850–900 °С. Процес активації триває 10–12 с. При цьому флюс плавиться і очищає поверхню деталі від оксидів, а також від подальшого її окиснення.

Невідновні ділянки деталі, що контактують з розплавом, захищають тонким шаром крейдового обмазування. Нагріту заготовку занурюють в розплав і витримують на протязі 0,8–1,2 с. Потім заготовку витягають з розплаву і охолоджують на повітрі.

Наплавлення наморожуванням забезпечує високу зносостійкість відновлених деталей, яка в 1,8–3,5 рази вища, ніж нових деталей.

5 Відновлення деталей напиленням

5.1. Сутність процесу і види напилення

Характеристика і особливості процесу утворення покриття. Напилення є одним із способів нанесення металічних покриттів на зношені поверхні відновлюваних деталей. Спосіб винайшов австрійський інженер М. У. Шооп в 1906 р.

Суть процесу полягає в напиленні заздалегідь розплавленого металу на спеціально підготовлену поверхню деталей струменем стислого повітря або інертного газу. При цьому частинки розплавленого металу розміром 0,002—0,2 мм, знаходячись в пластичному стані з температурою 0,85—0,95 від температури плавлення початкового металу, з великою швидкістю (140—300 м/с) досягають поверхні деталі. При ударі об поверхню деталі вони деформуються і, впроваджуючись в її пори і нерівності, утворюють покриття (рис. 5.1).

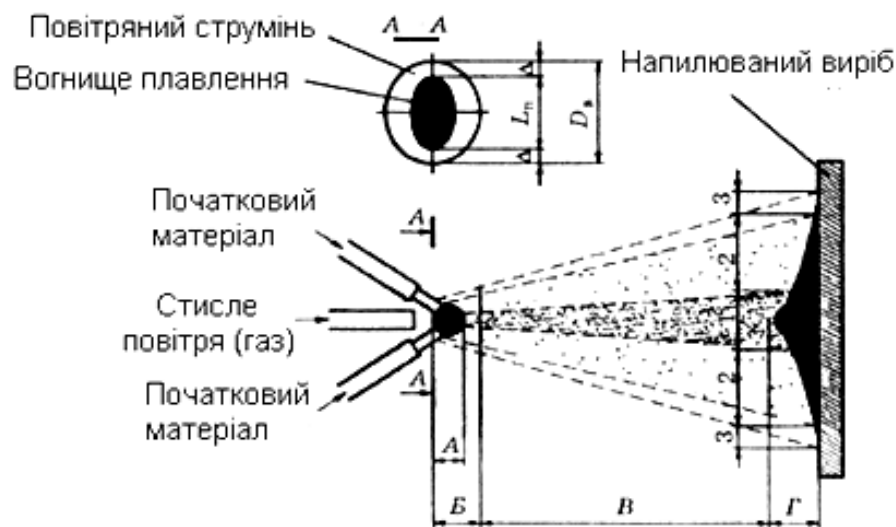


Рис. 5.1 – Схема процесу напилення:

А, Б, В – Відповідно зони плавлення, розпилювання та перенесення матеріалу; Г – зона утворення покриття; 1, 2, 3 – відповідно ділянки максимального, середнього і мінімального насичування; D_B – діаметр повітряного струменя; L_n – розмір ділянки плавлення; Δ - перекриття

Залежно від виду енергії, що використовується для напилення, розрізняють наступні способи напилення: газополуменеве, електродугове, індукційне (струмами високої частоти), детонаційне і плазмове.

Газополуменеве напилення. Виконується за допомогою спеціальних апаратів, в яких плавлення напилюваного металу здійснюється ацетиленокисневим полум'ям, а його розпилення – струменем стислого повітря (рис. 5.2). В якості горючого газу може застосовуватись також пропан та ін. Подача дроту здійснюється роликками, що приводяться в рух вбудованою в апарат повітряною турбіною через черв'ячний редуктор. Метал дроту, потрапляючи через центральний отвір пальника в зону полум'я з найбільш високою температурою, розп-

лавлюється і наноситься на поверхню деталі повітряним струменем під тиском 0,4–0,5 МПа.

В якості напилюваного матеріалу при газополуменевому напиленні застосовуються також металеві порошки. Порошок подають уздовж осі факела в його внутрішню частину за допомогою транспортуючого газу.

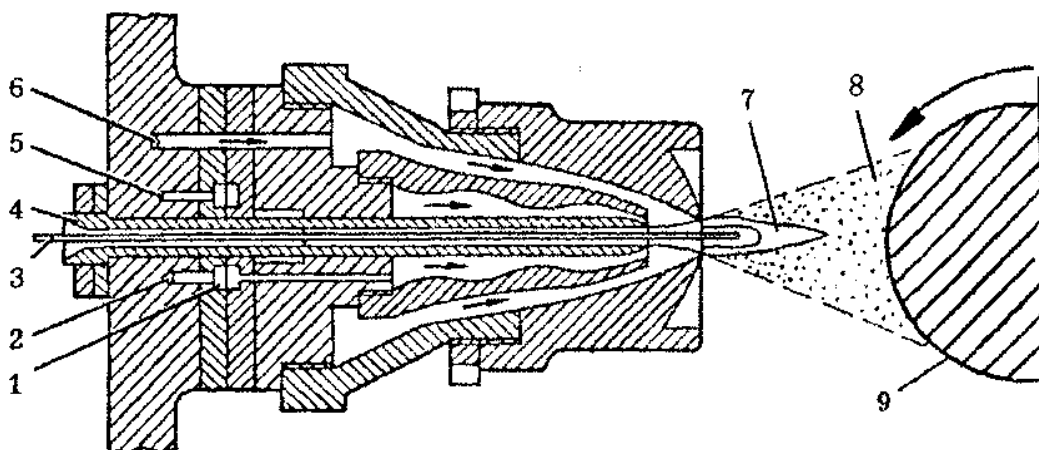


Рис. 5.2 Розпилювальна головка газополуменевого металізатора:

1 – змішувальна камера; 2 – канал подавання кисню; 3 – дріт; 4 – напрямна втулка; 5 – канал подавання ацетилену; 6 – повітряний канал; 7 – ацетиленокисневе полум'я; 8 – газометалічний струмінь, 9 – поверхня, що напилюється

Газополуменеве напилення може здійснюватися без оплавлення покриття, з одночасним оплавленням і з подальшим оплавленням.

Активування газополуменевого напилення забезпечують інтенсивним змішуванням робочих газів, а також ефективним теплообміном між полум'ям і матеріалом.

Комплект устаткування для газополуменевого напилення складається з джерела живлення горючим газом і киснем, компресора, мастиловологовідділювача і апарату для напилення.

Для газополуменевого напилення дротом застосовуються апарати МГІ-1-57, ГІМ-1, ГІМ-2 та ін.

Перевагами газополуменевого напилення є: невелике окислення металу, дрібне його розпилення, достатньо висока міцність покриття.

Недолік — порівняно невисока продуктивність процесу (2—4 кг/год) і вища вартість відновлення деталей в порівнянні з електродуговим напиленням.

Електродугове напилення. Нанесення покриття виконується апаратами, в яких метал розплавляється електричною дугою, що горить між двома дротами, ізольованими один від одного (рис. 5.3).

Для електродугового напилення застосовуються апарати: ЕМ-3, ЕМ-9, ЕМ-14 (ручні) і ЕМ-6, ЕМ-12, МЭС-1 (верстатні, встановлювані на супорті токарного верстата).

Подача дроту в ручних апаратах здійснюється від повітряної турбіни, а у верстатних — від електродвигуна. Апарати для електродугового напилення

живляться струмом через знижувальний трансформатор. Напруга дуги 30 В, сила струму 90—100 А.

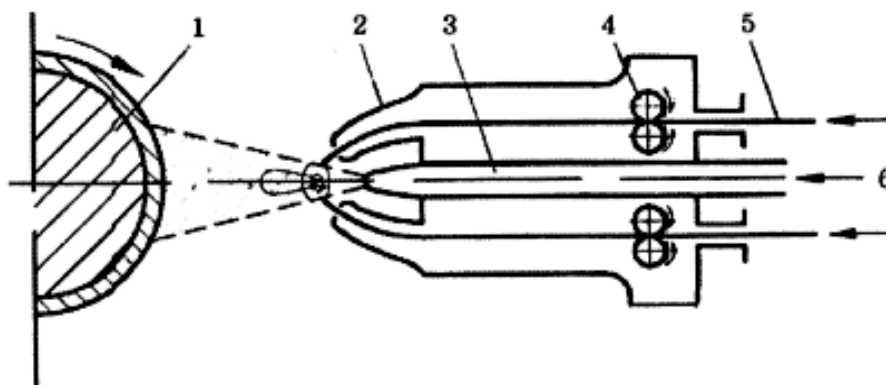


Рис.5.3 Схема апарату для електродугового напилення:
1 – відновлювана деталь; 2 – напрямні наконечники металізатора; 3 – повітряне сопло; 4 – ролики механізму подачі; 5 – дріт, 6 – стиснуте повітря

Для напилення застосовують компактний або порошковий дріт. Якщо електроди підібрані з дротів різного виду, то отримують покриття композиційної будови.

Основними перевагами електродугового напилення є: висока продуктивність (3—14 кг/год і більше), порівняно просте обладнання і економічність процесу. Витрати на нанесення одиниці маси покриття в два рази нижчі, ніж при електродуговому наплавленні.

До недоліків можна віднести підвищене окислення металу, порівняно велику пористість напиленого металу і інтенсивне вигорання легуючих елементів.

Індукційне напилення. Плавлення дроту при індукційному напиленні засновано на використанні принципу індукційного нагріву і розплавлення початкового матеріалу струмами високої частоти. Частоту струму (f , Гц), необхідну для розплавлення дроту, визначають за формулою:

$$f = \frac{k}{d^2},$$

де k – коефіцієнт, який залежить від матеріалу дроту і температури його плавлення;

d – діаметр дроту, см.

Струми високої частоти отримують за допомогою машинних або теристорних генераторів. Головка високочастотного апарату для напилення має індуктор, що живиться від генератора струму високої частоти, і концентратор вихрових струмів, який забезпечує підвищення щільності електромагнітного поля на кінці дроту. Розпилення розплавленого металу здійснюється струменем стиснутого повітря (рис. 5.4).

Перевагами високочастотного напилення є невелике окислення металу завдяки можливості регулювання температури його нагріву і досить висока механічна міцність покриття.

Недоліки — порівняно невисока продуктивність процесу, а також складність і висока вартість устаткування, що застосовується.

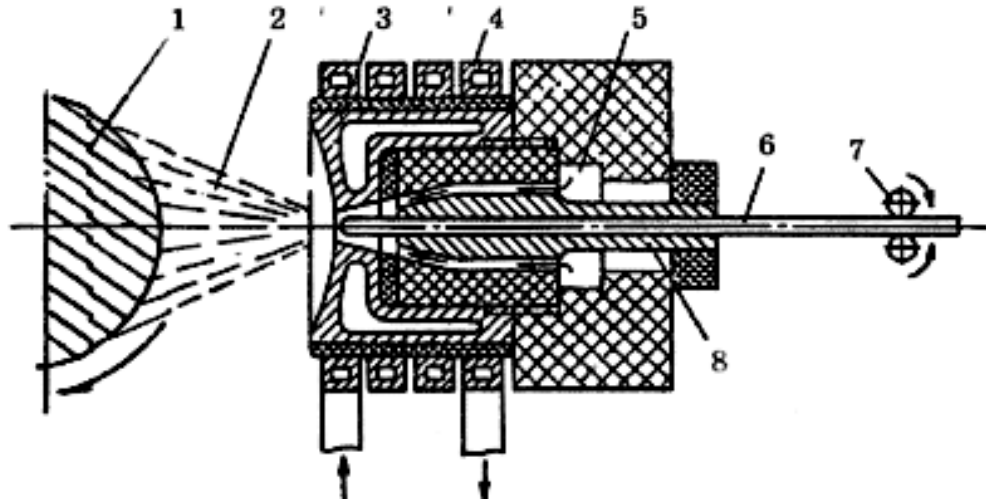


Рис. 5.4. Розпилювальна головка індукційного апарата для напилення:
 1 – напилювана деталь; 2 – газометалічний струмінь; 3 – концентратор струму;
 4 – індуктор, що охолоджується водою; 5 – повітряний канал; 6 – дріт; 7 – ролики
 механізму подачі; 8 – напрямна втулка

Детонаційне напилення. Суть процесу полягає в розплавленні металу, його розпиленні і перенесенні на поверхню деталі за рахунок енергії вибуху суміші ацетилену і кисню. Установа детонаційного напилення (рис. 5.5) включає водо охолоджуваний, відкритий з одного кінця стовбур 5 завдовжки 1200—2000 мм і діаметром 8—40 мм. Внутрішня порожнина стовбуру поблизу торцевої стінки утворює вибухову камеру 3. У її циліндричній стінці встановлені іскрова свічка 2 і клапанний пристрій 4 для подачі горючого і окислювального газів. У торці стовбура знаходиться порошковий живильник 1. Відновлювану поверхню деталі 7 розташовують на відстані 150–200 мм від зрізу ствола перпендикулярно його осі. При напиленні металу в камеру охолоджуваного водою стовбура апарату подаються в певному співвідношенні ацетилен і кисень.

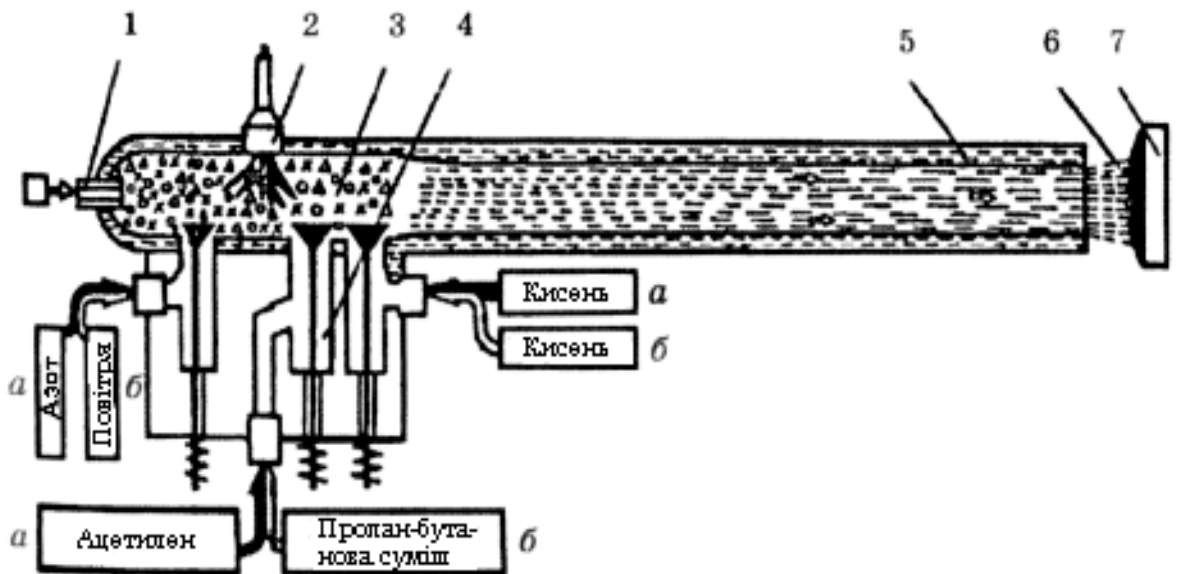


Рис. 5.5. Схема установки для детонаційного напилення:
 а – базової; б - вдосконаленої

Потім у вибухову камеру вводиться за допомогою струменя транспортуючого газу азоту порція порошку масою 50—200 мг з розміром гранул 50—100 мкм.

Газову суміш підпалюють електричною іскрою. Виникаюча при цьому вибухова хвиля надає частинкам порошку високу швидкість, яка на відстані 75 мм від зрізу стовбура досягає 800 м/с. При ударі об деталь кінетична енергія порошку переходить в теплову. При цьому частинки порошку розігріваються до температури 4000 °С.

Після нанесення кожної дози порошку стовбур апарату продувається азотом для видалення продуктів згоряння. Для отримання покриття 6 необхідної товщини потрібна серія вибухів. Детонаційний процес повторюється автоматично з частотою 3—4 рази в секунду. За один цикл на поверхню деталі наноситься шар металу завтовшки до 6 мкм і більше.

Залежно від призначення отримувані покриття можуть бути зносостійкими, корозійностійкими, жаростійкими і з спеціальними властивостями. Твердість зносостійких покриттів з твердих сплавів типу ВК, ТК і КХН досягає 10,5—14,5 ГПа. Тому такі покриття можуть застосовуватися для відновлення деталей, працюючих в умовах абразивного зношування при високих питомих навантаженнях і підвищеній температурі за відсутності мастила між поверхнями, що труться.

Переваги цього способу напилення: велика продуктивність процесу (при діаметрі стовбура 20—25 мм за 15 с можна нанести покриття завтовшки до 0,3 мм на площі до 5 см²); висока міцність зчеплення покриття з поверхнею деталі; низька температура на поверхні деталі, що не перевищує 200 °С.

Недоліки: високий рівень шуму (до 140 дБ), що обумовлює необхідність виконання робіт по нанесенню покриттів в окремому звукопоглинальному приміщенні.

Плазмове напилення. Цей спосіб напилення заснований на нанесенні металевих покриттів на поверхню деталі шляхом використання теплових і динамічних властивостей плазмового струменя. В якості плазмоутворюючого газу застосовують азот, гелій або аргон. Азотна плазма має порівняно невисоку температуру (до 10—15 тис. °С), але високу теплоємність (ентальпію).

Напилюваний матеріал у вигляді порошку з розміром часток 50—150 мкм вводиться в сопло плазмотрона з дозатора за допомогою транспортуючого газу (азоту). Витрату порошку можна регулювати в межах 3—12 кг/год. Плазмовий струмінь отримують в плазмовому пальнику (рис. 5.6), основні частини якого наступні: електрод-катод 1; водоохолоджуване мідне сопло-анод 4; сталевий корпус 2; пристрої для підведення води 3, порошку 5 і газу 6. Частини корпуса, які взаємодіють з катодом і анодом, ізольовані один від одного. Потрапляючи в плазмовий струмінь, металевий порошок розплавляється і, захоплюваний плазмовим струменем, наноситься на поверхню деталі, утворюючи покриття.

Властивості покриття залежать від температури нагріву часток і швидкості їх руху, яка визначається силою струму дуги і витратою плазмоутворюючого газу. Вона може досягати 150—200 м/с. Висока температура і швидкість

струменя дозволяють наносити покриття з будь-яких матеріалів без обмежень на температуру плавлення.

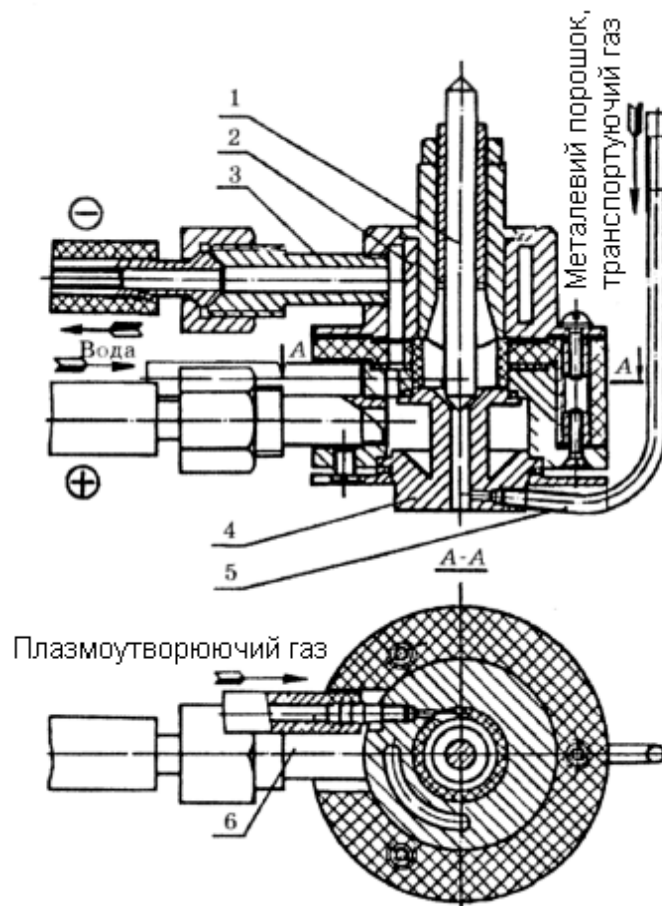


Рис. 5.6. Плазмова горілка для напilenня порошкового матеріалу

Режим плазмового напilenня : сила струму 350–400 А; напруга 60–70 В; витрата плазмоутворюючого газу 30–35 л/хв; витрата порошку 5–8 кг/год; відстань напilenня 125–150 мм.

Плазмове напilenня використовують при відновленні корінних опор блоків циліндрів, шийок колінчастих валів з високоміцного чавуну, шийок і кулачків розподільних валів і інших деталей.

Для плазмового напilenня застосовують установки УН-115, УН-120, УПМ-6, УПУ-ЗД, УПС-301, АПР-403, УПРП-201.

Перевагами способу плазмового напilenня являється висока продуктивність і економічна ефективність процесу, що визначається коефіцієнтом використання металу. Його значення залежить від діаметру відновлюваної поверхні і напильованого матеріалу. Наприклад, при напilenні порошку ПГ-У30Х28Н4С4 на деталі діаметром 25–30 мм коефіцієнт використання металу не перевищує 65–70%, а при напilenні хромонікелевого порошку на деталь діаметром 50 мм і більше – підвищується до 90–95%.

До інших переваг плазмового напilenня слідує віднести вищі, ніж при інших способах напilenня, механічні властивості покриття і вищу міцність з'єднання його з поверхнею деталі. Зносостійкість покриття, нанесеного плазмовим напilenням, в 1,5–2,0 рази вища,

ніж у загартованій сталі 45, а міцність зчеплення покриття з деталлю складає 40–45 МПа. Плазмове напилення дозволяє наносити покриття з будь-яких матеріалів і забезпечує повну автоматизацію управління процесом нанесення покриття.

5.2. Матеріали, що напилюються

Склад і властивості. В якості напилюваних матеріалів при відновленні автомобільних деталей застосовують дріт або порошкові сплави. При газополуменевому, електродуговому і індукційному напиленні зазвичай застосовується дріт з підвищеним вмістом вуглецю для забезпечення зносостійких покриттів. При детонаційному і плазмовому напиленні застосовують порошкові сплави на основі нікелю або дешевші на основі заліза з високим вмістом вуглецю.

Порошкові сплави на основі нікелю ПГ-СР2, ПГ-СР3, ПГ-СР4 мають наступні корисні властивості: низьку температуру плавлення (950—1050 °С); твердість 35–60 HRC залежно від вмісту бору; рідкотекучість, високу зносостійкість, властивість самофлюсування завдяки наявності у складі бору (Р) і кремнію (С), які активно віднімають кисень від оксидів. Основним їх недоліком є висока вартість. Характеристика порошкових сплавів на основі нікелю приведена в табл. 4.1 і табл. 4.2.

Таблиця 5.1 – Склад і властивості порошкових сплавів на основі нікелю (ГОСТ – 21448-75)

Марка порошку	Хімічний склад, % (за масою)					Твердість HRC
	Залізо	Хром	Кремній	Вуглець	Бор	
ПГ-СР2	<5,0	12–15	2,0–3,0	0,2–0,5	1,5–2,1	>35
ПГ-СР3	<5,0	13,5–16,5	2,5–3,5	0,4–0,7	2,0–2,8	>45
ПГ-СР4	<5,0	15–18	3,0–4,5	0,6–1,0	2,8–3,8	>55

Таблиця 5.2 – Порошки, що самофлюсуються на основі нікелю

Марка порошку	Хімічний склад, % (за масою)				Твердість HRC
	Хром	Кремній	Бор	Залізо	
ПР-Н80Х13С2Р	12–14	2,0–2,8	1,2–1,6	<5,0	25—35
ПР-Н70Х17С4Р4	16–18	3,8–4,5	3,1–4,0	<5,0	>55
ПР-Н68Х21С5Р	20–27	4,0–5,0	1,0–1,3	< 5,0	>40

Сплави на основі заліза з високим вмістом вуглецю типу ПГ-С1, ФБХ-6-2, КБХ мають твердість 56–63 HRC, високу зносостійкість, недефіцитні, але більш тугоплавкі (температура плавлення 1250–1300 °С). Сплави на основі заліза не мають властивості самофлюсування. Вартість їх в 2 рази нижча чим порошоків на основі нікелю.

Для відновлення поверхонь отворів під підшипники в чавунних корпусних деталях застосовують сталевий порошок ПЖ-5М з добавкою 1–2% порошку алюмінію АКП. Така ж порошкова суміш з добавкою 4–5 % мідного порошку ПМС-2 або 2–3 % нікелевого порошку може бути рекомендована для плазмового напилення опор під вкладиші корінних підшипників в чавунних блоках циліндрів двигунів.

Для підвищення міцності зчеплення покриття з поверхнею деталі рекомендується напилувати підшар з порошків ПН-70Ю30; ПН-85Ю15; ПН-55Т45 (табл. 5.3).

Таблиця 5.3 – Порошки на основі нікелю, що використовуються в якості підшару

Марка порошку	Хімічний склад, % (за масою)		Температура плавлення, °С	Твердість, HRC	Міцність зчеплення, МПа
	Титан	Алюміній			
ПН-70Ю30	—	28–33	1600	>40	30,0–35,0
ПН-85Ю15	—	12–15	1400	>40	40,0–45,0
ПН-55Т45	43–47	—	1240	50–60	45,0–50,0

5.3. Структура і властивості напилених покриттів.

Експлуатаційні властивості. Основними експлуатаційними властивостями напилених покриттів є зносостійкість і міцність зчеплення покриття з основним металом.

Зносостійкість покриття залежить від структури напиленого шару і його твердості. Структура напиленого покриття відрізняється від структури литих металів внаслідок пористості покриття. Пористість покриття залежить від способу його нанесення, напилуваного матеріалу, режиму напилування і інших факторів. Найбільшу пористість (15–20%) мають покриття, напилені електродуговим способом, а найменшу (5–10%) – плазмові і детонаційні покриття.

Пористість зростає зі збільшенням відстані напилування і зменшується з підвищенням температури нагрівання і швидкості руху часток металу при зустрічі з підкладкою.

Пористість покриття відіграє позитивну роль при рідинному і граничному терті, оскільки пори добре утримують мастило, що сприяє підвищенню зносостійкості деталей. Найбільш високу зносостійкість мають покриття, напилені порошком на основі нікелю, а також сплавом ПГ-С1. Зносостійкість покриттів отриманих плазмовим напилуванням сплавом ПГ-С1 в 1,5–2,0 рази вище за зносостійкість зразків із сталі 45, загартованої до твердості 58–60 HRC.

Твердість покриття залежить від напилуваного матеріалу і режиму нанесення покриття. При газополуменевому і електродуговому напилуванні твердість покриття збільшується зі збільшенням вмісту вуглецю в сталевому дроті. При цьому твердість вища при газополуменевому напилуванні, чим при електродуговому, оскільки при електродуговому напилуванні має місце більш інтенсивне вигорання вуглецю.

Незважаючи на вигорання вуглецю, твердість напиленого шару вища за твердість початкового металу електродного дроту. Підвищення твердості відбувається в результаті наклепу покриття з маловуглецевого дроту і місцевого загартування матеріалу частками із високовуглецевого дроту.

За даними досліджень, найбільш висока зносостійкість покриття забезпечується при використанні дроту із вмістом вуглецю в межах 0,7%.

Міцність зчеплення покриття є одним з основних параметрів, що визначають можливість застосування способу напилування при відновленні деталей.

Найбільший вплив на міцність зчеплення має метод підготовки поверхні деталі до напилення. Чим шорсткіша поверхня деталі, тим більшим буде змочування поверхні напіврідким металом, що забезпечує міцніший молекулярний зв'язок часток з основою. Крім того, при шорсткій поверхні зростає механічне зчеплення часток з поверхнею деталі.

На міцність зчеплення покриття з поверхнею деталі важливий вплив також має температура нагрівання і швидкість руху металевих часток у момент удару їх по підкладці.

Наприклад, при нанесенні покриття із сталі 45 на сталевий зразок, підготовлений до покриття дробоструминною обробкою, міцність зчеплення на відрив при газополуменовому напиленні складає 15–16 МПа, при електродуговому напиленні близько 30 МПа. При плазмовому напиленні сплаву ПГ-С1 міцність зчеплення покриття складає 40–45 МПа за рахунок більш високої температури нагріву часток.

При збільшенні відстані напилення понад 80–100 мм міцність зчеплення знижується при усіх способах напилення.

Міцність зчеплення напилених покриттів з основним металом може бути підвищена попереднім підігріванням деталі до температури 200–300 °С, що сприяє поліпшенню умов змочуваності при осадженні часток на поверхню деталі. Проте цей спосіб не рекомендується для деталей, які мають високу поверхневу твердість.

Підвищення міцності зчеплення напиленого покриття з поверхнею деталі може бути забезпечено шляхом напилення на деталь підшару з тугоплавких металів (наприклад, молібдену з температурою плавлення 2620 °С). Міцність зчеплення можна підвищити також при напиленні в середовищі захисних газів або у вакуумі.

Застосування підшару з подальшим оплавленням покриття дозволяє підвищити міцність зчеплення в 2,0–2,5 рази. Але оплавлення напиленого покриття дещо знижує його антифрикційні властивості, оскільки пористість покриття при оплавленні зменшується.

Оплавлення покриття може здійснюватися різними способами: ацетиленокисневим полум'ям, плазмовим струменем, струмами високої частоти і в нагрівальних печах. Найбільш прийнятним є оплавлення струмами високої частоти, оскільки при цьому забезпечується локальний нагрів, що не порушує термообробки усієї деталі.

Втомна міцність деталі залежить від способу підготовки поверхні до напилення і передусім від шорсткості.

До методів створення шорсткості відносяться дробоструминна обробка, електроіскрова обробка, накатка зубчастим роликком, нарізування рваної різьби. Для деталей з високою поверхневою твердістю застосовують дробоструминну і електроіскрову обробку.

При застосуванні дробоструминної обробки втомна міцність деталі майже не знижується.

5.4. Технологічний процес напилення

Режими напилення. Процес нанесення покриттів включає підготовку деталі до нанесення покриття; нанесення покриття (напилення) і обробку деталей після напилення.

Підготовка деталі до напилення необхідна для забезпечення високої міцності зчеплення покриття з поверхнею деталі. Вона включає знежирення і очищення деталі від забруднень, механічну обробку і створення шорсткості на поверхні деталі. При механічній обробці з поверхні знімають такий шар металу, щоб після остаточної обробки на поверхні деталі залишалася покриття завтовшки не менше 0,5–0,8 мм.

Для отримання на поверхні деталі необхідної шорсткості її піддають дробоструминній обробці в спеціальних камерах чавунним дробом ДЧК-1,5 при режимі: відстань від сопла до деталі – 25–50 мм; тиск повітря $p_v=0,5–0,6$ МПа; кут нахилу струменя до поверхні деталі – більше 45° ; час обробки – 2–5 хв.

Після підготовки поверхні деталі виконують напилення. Час між підготовкою і нанесенням покриття має бути мінімальним і не перевищувати 1,5–2,0 год.

Нанесення покриття здійснюється на переобладнаних токарних верстаках або в спеціальних камерах.

Якість покриття і продуктивність процесу залежать від режиму напилення (таблиця. 5.4).

Таблиця 5.4 – Режими напилення

Параметри	Газополуменеве напилення	Електродугове напилення	Плазмове напилення
Відстань напилення, мм	100—150	75—100	125—150
Швидкість обертання деталі, м/хв	10—15	15—20	15—20
Поздовжня подача апарату, мм/об	1,5—2,0	1,5—2,0	1,5—2,5
Діаметр дроту, мм	1,5—3,0	1,5—2,5	—
Сила струму, А	—	120—180	300—350
Напруга, В	—	25—30	70—80
Розмір гранул порошку ПГ-СР3, ПГ-СР4, мкм	—	—	50—100
Швидкість подачі дроту, м/хв	4,5—6,0	2—3	—
Продуктивність напилення, кг/год	2—3	6—8	6—8
Тиск:			
стислого повітря, МПа	0,3—0,5	0,5—0,6	—
ацетилену, МПа	0,01—0,06	—	—
кисню, МПа	0,3—0,5	—	—
Витрата плазмоутворюючого газу (азоту), л/хв.	—	—	25—30
Витрата транспортуючого газу, л/хв	—	—	2,5—3,0

6 Відновлення деталей електрохімічними і хімічними покриттями

6.1. Сутність процесу електрохімічного осадження металів

Технологічні режими електролізу. Процес отримання електрохімічних (гальванічних) покриттів на виробках був розроблений в 1838 р. російським вченим-академіком Б. С. Якобі.

У авторемонтному виробництві електрохімічні покриття застосовуються для відновлення зношених деталей та при нанесенні на деталі антикорозійних і захисно-декоративних покриттів. У ремонтній практиці найбільше застосування отримали способи: хромування, залізнення, нікелювання, цинкування, міднення.

Електрохімічні покриття отримують з електролітів, в якості яких застосовують водні розчини солей тих металів, якими необхідно покрити деталі. При пропусканні електричного струму через електроліт відбувається хімічний процес, що називається *електролізом*, в результаті якого позитивно заряджені іони металу переміщуються до катода, від якого отримують невивстаючі електрони, перетворюються на нейтральні атоми і виділяються на катоді, тобто має місце процес електровідновлення.

На аноді при цьому відбувається розрядження негативно заряджених іонів і виділення кисню. Застосовуються два види анодів : розчинні і нерозчинні. Розчинні аноди виготовляють з металу, який осідає на деталі. Нерозчинні - зі свинцю.

Відповідно до об'єднаного закону Фарадея маса металу m_T , що виділилася на катоді, пропорційна силі струму, що протікає через електроліт, і знаходиться за формулою:

$$m_T = c \cdot I \cdot t_0,$$

де c – електрохімічний еквівалент, г/А·год;

I — сила струму, А;

t_0 — тривалість електролізу, год.

Електрохімічний еквівалент являє собою масу металу, що виділяється на катоді при пропусканні через електроліт струму в один ампер протягом однієї години.

Фактична маса металу, що виділиться на катоді, буде менша за теоретичну з огляду на те, що при електролізі струм витрачається не лише на відкладення металу, але й на інші процеси (електроліз води, нагрів електроліту, виділення на катоді водню, відновлення металу до більш низької валентності та ін.).

Відношення фактичної маси m_ϕ металу, що відклався, до теоретичної маси m_T , виражене у відсотках, називається коефіцієнтом виходу металу по струму (α), який визначається з виразу:

$$\alpha = \frac{m_\phi}{m_T} \cdot 100\% = \frac{m_\phi}{c \cdot I \cdot t_0} \cdot 100\% .$$

Час (t_0 , год), необхідний для нанесення шару металу потрібної товщини, визначається за формулою:

$$t_0 = \frac{1000 \cdot \gamma \cdot h}{D_k \cdot c \cdot a},$$

де γ – густина металу покриття;
 h – товщина шару електрохімічного осаду;
 D_k – катодна густина струму.

Електрохімічні характеристики металів, які використовуються при відновленні деталей електрохімічними покриттями, приведені в таблиці. 6.1.

Таблиця 6.1 - Основні дані технологічних режимів електролізу

Метал, що наноситься	γ , г/см ³	c , г/А·год	α , %	h , мм (максимум)
Хром	6,9 – 7,1	0,324	11 – 32	0,3
Залізо	7,7 – 7,8	1,042	85 – 95	1,0 – 1,5
Цинк	7,0	1,22	97 – 99	0,006 – 0,024
Мідь	8,9	1,186	80 – 90	0,025
Нікель	8,8	1,095	90 – 94	0,002 – 0,060

Електрохімічні покриття в ремонтному виробництві застосовуються для відновлення деталей з невеликою величиною зносу, але з високими вимогами до зносостійкості, твердості і міцності з'єднання покриття з основою. За статистикою близько 65% деталей ремонтного фонду мають знос на сторону до 0,14 мм. Тому електрохімічними покриттями рекомендується відновлювати такі деталі, як стрижні клапанів, поршневі пальці, отвори в нижніх головках шатунів під вкладиші, отвори під підшипники в корпусних деталях та ін.

У ремонтному виробництві найбільшого поширення набули електрохімічні процеси відновлення деталей хромуванням, залізненням і цинкуванням.

6.2. Хромування деталей

Властивості хрому і його застосування. Електрохімічне хромування застосовують з 1922 р. Швидке поширення в промисловості хромування завдячується високим експлуатаційним властивостям хрому. Хром – твердий крихкий метал сріблясто-сталевого кольору з синюватим відтінком. Температура плавлення – 1615 °С, електролітично виділений хром має мікротвердість 4 – 12 ГПа. Хромове покриття володіє малим коефіцієнтом тертя, має високу зносостійкість, високу хімічну стійкість, за нормальних атмосферних умов і температури майже не окислюється, відрізняється красивим зовнішнім виглядом.

Процес хромування на відміну від інших електрохімічних процесів має наступні особливості.

1. Застосування нерозчинних анодів (свинцево-сурм'янисті пластини) внаслідок низького виходу металу по струму і необхідності підтримувати певну концентрацію іонів хрому в електроліті. Проте пониження концентрації хрому в електроліті вимагає періодичного контролю електроліту шляхом додавання в нього хромового ангідриду CrO_3 .

2. Необхідна відносно висока густина струму (приблизно 25 – 65 А/дм²). Велика густина і погана провідність хромових ванн потребує підвищеної на-

пруги (6 – 10 В) замість 3 – 4 В при інших електрохімічних процесах.

3. Погана розсіювальна здатність хромових електролітів, тобто здатність електроліту давати рівномірні по товщині покриття. Розсіювальна здатність залежить від характеру розподілу силових ліній, що пронизують електроліт, які зазвичай концентруються на краях і виступах анодів і катодів.

На характер розподілу металу покриття по деталі впливають розміри, форма і розміщення анодів відносно деталі. Для забезпечення кращої розсіювальної здатності і більш високого коефіцієнта виходу металу по струму α відношення $\text{CrO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4$ повинно дорівнювати 90 – 120.

Технологічний процес нанесення електрохімічних покриттів. *Технологічний процес* відновлення деталей твердим хромуванням містить три блоки операцій: підготовка деталі до хромування, нанесення металу і обробка деталі після хромування.

Типова схема технологічного процесу електрохімічного покриття складається з циклу операцій, виконуваних у певній послідовності (рис. 6.1).



Рис. 6.1. Схема технологічного процесу нанесення електрохімічних покриттів

Підготовчий етап включає наступні операції.

1. Механічну обробку поверхні деталі у вигляді шліфуванням для усунення слідів зношування і надання їй правильної геометричної форми. Ця операція забезпечує рівномірну товщину покриття, необхідну шорсткість основи і є важливою умовою міцного з'єднання покриття з поверхнею деталі.

2. Промивання деталі уайт-спіритом або іншими органічними розчинниками для видалення абразивних часток після шліфування і обдування стислим повітрям.

3. Ізоляцію поверхонь деталі, що не підлягають хромуванню. Виконується покриттям поліхлорвініловою стрічкою, целулоїдною плівкою, цапон-лаком (розчин целулоїду в ацетоні) в 2 – 3 шари з просушуванням кожного шару, а також тонкою гумою і іншими матеріалами, що не розчиняються в електроліті.

4. Монтаж деталей на підвіски. Ця операція повинна забезпечити надійний електричний контакт в ланцюзі підвіска – деталь.

5. Знежирення деталі з метою видалення жирової плівки з поверхні, яка перешкоджає осадженню покриття.

На практиці застосовують декілька способів знежирення деталей, в тому числі: *органічними розчинниками* (трихлоретиленом, бензином, уайт-спіритом); *хімічне знежирення* в розчинах лугів головним чином NaOH з концентрацією 100 – 150 г/л та добавкою емульгатора рідкого скла Na_2SiO_3 (тривалістю 2 – 10 хв), а також «венським вапном» (суміш солей оксидів MgO та CaO).

Для *електрохімічного знежирення* можуть застосовуватись ті ж лужні розчини, що й для хімічного знежирення, але менш концентровані: NaOH – 70–100 г/л та Na_2SiO_3 – 2–3 г/л; режим: густина струму $D_k = 5 – 7 \text{ А/дм}^2$; температура 70 – 80 °С; час $t = 5 – 10 \text{ хв}$. При електрохімічному знежиренні деталь являється катодом. При цьому водень, інтенсивно виділяючись на катоді, сприяє відриванню частинок жиру та інших забруднень з поверхні деталі.

6. Промивання деталі і підвішення в гарячій воді для видалення продуктів розщеплення жирових забруднень.

7. Декапірування – для завершального видалення з поверхні деталей найтоншої оксидної плівки та виявлення структури основного металу деталі безпосередньо перед хромуванням. Декапірування може бути хімічним та анодним. При хімічному декапіруванні сталеві деталі занурюють на 1 – 2 хв у 5 % -ний розчин сірчаної кислоти (H_2SO_4).

Анодне декапірування більш поширене і виконується в основному електроліті. Деталь витримується у ванні 3 – 5 хв без струму для вирівнювання температур деталі і електроліту. Потім включають струм, щоб деталь була анодом, і витримують її під струмом протягом 30 – 50 с при густині струму $D_k = 20 – 25 \text{ А/дм}^2$.

Мета декапірування — отримання міцного зчеплення хромового покриття з основним металом деталі. Після декапірування, не виймаючи деталі з електроліту, перемикають її на катод і наносять покриття.

Нанесення покриттів. Основним етапом процесу хромування є осадження металу. Як електроліт при хромуванні застосовується розчин хромового ангідриду (CrO_3) і сірчаної кислоти (H_2SO_4) у дистильованій воді.

Концентрація хромового ангідриду в електроліті може змінюватися залежно від необхідних властивостей покриття. При цьому вміст хромового ангідриду і сірчаної кислоти повинен відповідати відношенню $\text{CrO}_3 : \text{H}_2\text{SO}_4 = 100 : 1$.

Склад електролітів та рекомендовані режими для отримання хромових покриттів приведені в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 - Склад електролітів та режими хромування

Електроліт	Вміст, г/дм ³		Температура електроліту, °С	Густина струму D_k , А/дм ²	Швидкість осадження, мкм/год
	CrO_3	H_2SO_4			
Низької концентрації (розбавлений)	150	1,5	45 – 60	30 – 60	18 – 36
Середньої концентрації (універсальний)	250	2,5	45 – 60	30 – 60	15 – 30
Високої концентрації (концентрований)	350	3,5	45 – 60	30 – 60	15 – 30

Залежно від густини струму і температури електроліту можна отримати три види осаду, які відрізняються фізико-механічними властивостями: молочні, блискучі і матові (сірі) (рис. 6.2).

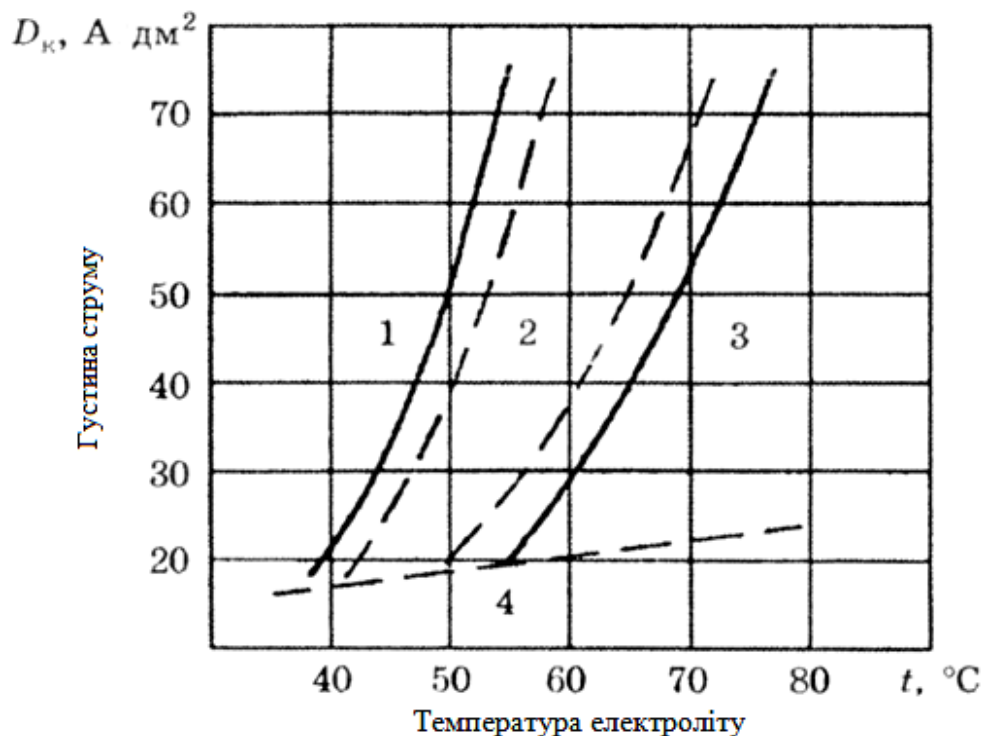


Рис. 6.2. Діаграма розміщення зон різних видів хромових покриттів в універсальному електроліті: 1 – матові покриття; 2 – блискучі покриття; 3 – молочні покриття; 4 – немає покриттів

Молочні покриття мають високу зносостійкість, велику в'язкість і порівняно невисоку твердість.

Блискучі покриття характеризуються високою твердістю, підвищеною зносостійкістю та крихкістю.

Сірі покриття відрізняються високою твердістю, крихкістю та меншою зносостійкістю.

Хромування деталей здійснюється в спеціальних ваннах з покриттям внутрішньої поверхні кислотостійким матеріалом (свинцем, вініпластом та ін.). Ванна має бортові витяжки для витягування шкідливих випарів.

Будову ванни для електрохімічного хромування наведено на рис. 6.3.

1 – штанги анодні; 2, 3 – анодні пристрої; 4 – штанга катодна; 5 – відновлювана деталь на підвісці; 6 – пристосування для установки штанг; 7 – електроліт; 8 – футеровка ванни; 9 – водяна сорочка; 10 – бортова витяжка; 11, 12 – корпус ванни; 13 – пульт керування; 14 – електронагрівальні елементи; 15 – термодатчик; 16 – сигналізатор температури.

Необхідна температура електроліту забезпечується електропідігрівом води, що знаходиться між подвійними стінками корпусу ванни. Для підтримки температури електроліту на необхідному рівні ванна оснащується терморегулятором, а також пристроєм для автоматичного регулювання сили струму.

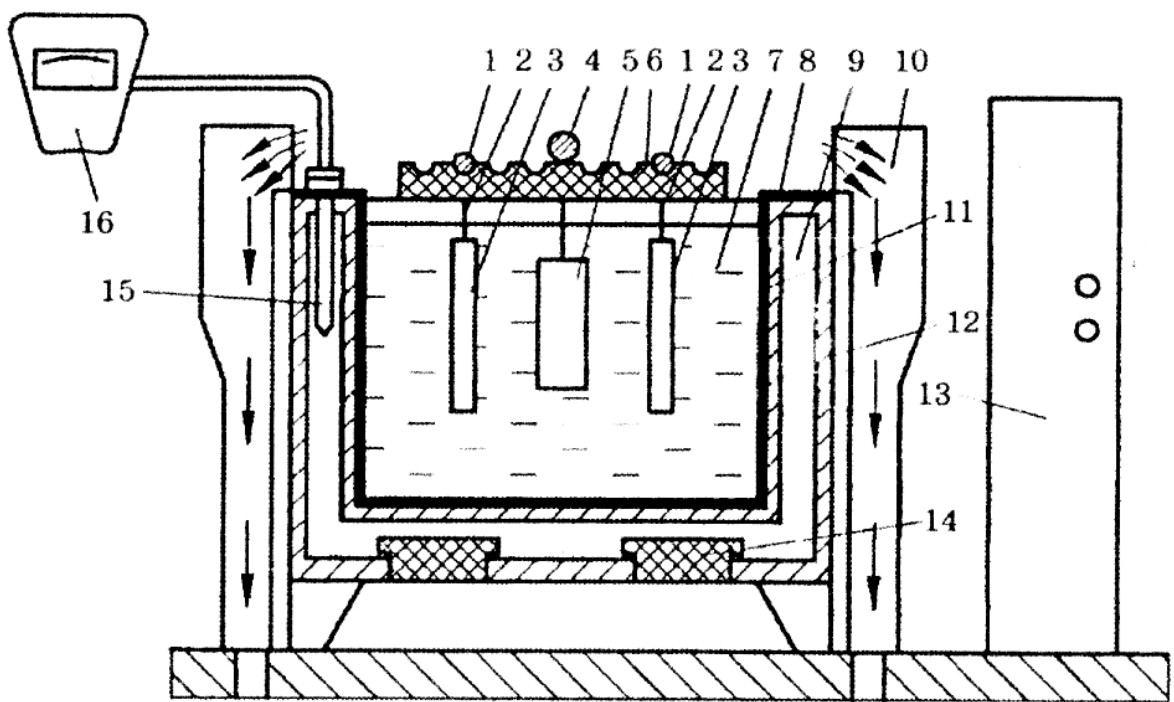


Рис. 6.3. Ванна для електрохімічного хромування:

Обробка деталей після нанесення покриттів. Після нанесення покриттів деталі спочатку промивають у дистильованій воді (для уловлювання електроліту), а потім – в проточній воді. Для нейтралізації залишків електроліту деталі занурюють на 0,5 – 1,0 хв у 3 – 5 %-ний розчин кальцинованої соди, після чого остаточно промивають в теплій воді.

Потім здійснюється демонтаж деталі з підвісного пристосування, зняття

ізоляції і сушіння в сушильній шафі при температурі 120 – 130 °С. Для зняття внутрішніх напружень в хромових покриттях, а також з метою видалення водню, поглинутого хромом, деталі піддаються термообробці з нагрівом до температури 180 – 200 °С в мастильній ванні на протязі 1 – 2 год.

Завершальним етапом відновлення деталей являється механічна обробка (шліфування) до потрібного розміру.

Пористе хромування. Пористе хромове покриття володіє деякими перевагами в порівнянні з гладким хромом, основними з яких є: добре утримання мастила на своїй поверхні, чим забезпечується менше зношування спряжених деталей; нижчий коефіцієнт тертя, висока зносостійкість в умовах підвищеного питомого тиску при температурі до 500°С, а також в середовищі сірководневих з'єднань.

Суть процесу отримання пористого хрому заснована на властивості хромових електролітів при певних режимах хромування отримувати на поверхні покриття сітку мікротріщин, які можна збільшити шляхом анодного травлення хромового покриття в електроліті для хромування.

В процесі анодного травлення відбувається руйнування хрому і утворені раніше мікротріщини продовжують глибшати і поширюватися по всіх напрямках, утворюючи на поверхні сітку каналів.

Залежно від режиму хромування і виду осаду можна отримати два види пористого хрому – каналчастий і точковий. Канальчастий хром отримують при анодному травленні молочних і молочно-блискучих хромових покриттів. Точкове пористе покриття отримують при інтенсивному травленні матових і матово-блискучих покриттів. Точкове пористе покриття володіє більшою мастилоємністю, ніж каналчасте, тому його застосовують при відновленні деталей, що працюють в важких умовах.

Анодне травлення виконується при густині струму 50 А/дм², температурі електроліту 55 – 60 °С протягом 6 – 10 хв. Для здобуття пористого хромового покриття необхідної якості інтенсивність процесу анодного травлення необхідно контролювати по параметру добутку густини струму на час. Рекомендуються наступні значення даного параметра: для покриттів товщиною до 0,1 мм – 320 А·хв/дм²; для покриттів товщиною 0,1 – 0,15 мм – 400 А·хв/дм²; для покриттів товщиною більше 0,15 мм – 480 А·хв/дм².

6.3. Інтенсифікація процесу відновлення деталей хромуванням

Способи хромування. Найбільш істотними недоліками звичайних електролітів, що застосовуються при відновленні деталей хромуванням є: низька продуктивність внаслідок малого коефіцієнта виходу металу по струму, мала розсіююча здатність електроліту і необхідність його частоті корекції із-за порушення оптимального співвідношення кількості хромового ангідриду і сірчаної кислоти.

З метою інтенсифікації процесу хромування застосовуються різні способи.

Хромування в саморегульованому електроліті. Суть процесу полягає у введенні в електроліт замість сірчаної кислоти важкорозчинних солей сульфату стронцію (SrSO_4) і кремнефториду калія (K_2SiF_6) у кількості, що перевищує їх розчинність. При цьому електроліт стає стійким і саморегульованим, оскільки при зміні концентрації хромового ангідриду концентрація іонів SO_4 і SiF_6 автоматично підтримуватиметься постійною за рахунок переходу розчинних солей SrSO_4 і K_2SiF_6 в тверду фазу (при зменшенні концентрації CrO_3) або часткового розчинення солей сульфату стронцію і кремнефториду калію (при підвищенні концентрації хромового ангідриду). Таким чином, відбувається автоматичне регулювання електроліту і відпадає необхідність в його частих корегуваннях.

Застосовується наступний склад електроліту: хромовий ангідрид – 200 – 300 г/л; сульфат стронцію – 5,5 – 6,5 г/л; кремнефторид калію – 18 – 20 г/л.

Режим хромування в саморегульованому електроліті: густина струму $D_k=50 - 100 \text{ А/дм}^2$; температура електроліту $t = 50 - 70 \text{ }^\circ\text{C}$; напруга – 12 В; вихід металу по струму 18 – 20%.

У саморегульованому електроліті можна отримати всі три види осадів. При цьому область отримання більш зносостійких блискучих осадів рухається у бік підвищення густини струму і температури. Швидкість відкладення осаду при середніх режимах досягає 45 – 50 мкм/год. Вартість відновлення деталей в саморегульованому електроліті в середньому на 25 – 28 % нижча в порівнянні з хромуванням в універсальному електроліті.

Основними недоліками даного способу слід вважати підвищену агресивність електроліту, в зв'язку з чим ускладнюється захист ванни та невідновних поверхонь деталі. Тому в якості матеріалу для виготовлення ванн може бути рекомендована корозійно-стійка сталь, а для анодів застосовують свинцево-олов'яні сплави типу ПОС-10.

Саморегульовані електроліти рекомендовано застосовувати для отримання покриттів товщиною до 1,0 мм та при розмірному хромуванні.

В наш час розроблені нові склади саморегульованих електролітів. Наприклад, на практиці застосовується сульфатно-кремнефторидний електроліт з добавкою біхромату калія наступного вмісту: CrO_3 – 250 г/л; SrSO_4 – 6 – 8 г/л; K_2SiF_6 – 20 г/л; $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ – 110 г/л. Режим хромування: густина струму $D_k=30 - 100 \text{ А/дм}^2$; температура електроліту $t = 50 - 70 \text{ }^\circ\text{C}$; вихід металу по струму – 17 – 24 %.

Застосування даного електроліту дозволяє отримувати блискучі осадки при знижених густині струму і температурі. При цьому корозійна активність електроліту значно нижча в порівнянні з хромуванням у звичайному саморегульованому електроліті без добавки біхромату калія.

Хромування на струмі змінної полярності. Застосування даного способу хромування деталей засноване на реверсуванні постійного струму, тобто автоматичному перемиканні деталі з катода на анод за допомогою автоматів типу АРТ-1, АРТ-2 та ін.

Хромування струмом змінної полярності може здійснюватись як у звичайному електроліті середньої концентрації (CrO_3 – 250 г/л; H_2SO_4 – 2,5 г/л), так і в саморегульованому електроліті при наступному режимі: густина струму

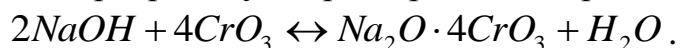
$D_k=30 - 100 \text{ А/дм}^2$; температура електроліту $t = 50 - 70 \text{ }^\circ\text{C}$; співвідношення між катодним та анодним періодами по часу ($t_k; t_a$) допустимо в межах 40 – 60, тобто тривалість катодного періоду 1 – 5 хв, тривалість анодного періоду 1 – 5 с.

Спосіб хромування струмом змінної полярності має наступні переваги в порівнянні з хромуванням на постійному струмі: поліпшення структури і властивостей покриття; можливість застосування вищої густини струму; поліпшення розсіюючої здатності електроліту; нижчі внутрішні напруження шарів в порівнянні з осадами твердого хрому; вихід металу по струму 18—20%.

Хромування на струмі змінної полярності дозволяє отримувати гладкі покриття в розмір, що виключає наступну механічну обробку. Розмірне хромування може застосовуватися при відновленні прецизійних деталей паливної апаратури дизельних двигунів.

Хромування в тетрахроматному електроліті. Основним компонентом електроліту є тетрахромова кислота, що утворюється при підвищеному вмісті в електроліті хромового ангідриду (CrO_3). Тетрахроматний електроліт характеризується також введенням в нього їдкого натру, необхідного для утворення тетрахромату натрію ($\text{Na}_2\text{O}\cdot 4\text{CrO}_3$), що сприяє здобуттю якісних осадів з максимальним виходом металу по струму.

Процес утворення тетрахромату натрію протікає по реакції:



До складу тетрахроматного електроліту входять наступні компоненти: хромовий ангідрид (CrO_3) – 350 – 400 г/л; сірчана кислота (H_2SO_4) – 2 – 2,5 г/л; їдкий натр (NaOH) – 40 – 60 г/л; цукор чи глюкоза – 1 – 2 г/л.

Цукор або глюкоза вводяться в електроліт для утворення тривалентного хрому, який впливає на якість осаду і його зовнішній вигляд.

Режим хромування характеризується підвищеною густиною струму ($D_k=60 - 80 \text{ А/дм}^2$) та низькою температурою електроліту ($t = 18 - 22 \text{ }^\circ\text{C}$).

Хром, отриманий з тетрахроматного електроліту, має гексагональну кристалічну решітку, покриття володіє малою пористістю і високою корозійною стійкістю. Мікротвердість осадів, отриманих з тетрахроматного електроліту, не перевищує 3,5 – 4,0 ГПа, тому вони добре припрацьовуються.

Тетрахроматний електроліт має високу розсіювальну здатність і коефіцієнт виходу металу по струму до 28 – 30 %, що підвищує швидкість нанесення покриття в 2,0 – 2,5 рази. Внаслідок незначної агресивності електроліту хромування можна вести в звичайних залізних ваннах без будь-якого футерування при кімнатній температурі.

Хромування в тетрахроматному електроліті рекомендується застосовувати для відновлення деталей з невисокою поверхневою твердістю (наприклад, шийок поворотних цапф, валів сошок керма, поверхонь під підшипники кочення та ін), а також для отримання захисно-декоративних покриттів.

Для авторемонтного виробництва практичну цінність представляє саморегулюючий тетрахроматний електроліт наступного складу: хромовий ангідрид (CrO_3) – 380 – 420 г/л; карбонат кальцію (CaCO_3) – 60 г/л; сульфат кальцію (CaSO_4) – 12 г/л; оксид магнію (MgO) – 0,8 – 1,0 г/л.

Режим електролізу: густина струму $D_k=100 - 140 \text{ А/дм}^2$, температура електроліту $t = 18 - 25 \text{ }^\circ\text{C}$; вихід металу по струму – 32 – 35 %; швидкість осадження хрому – 150 – 200 мкм/год; мікротвердість осаду 10,0 – 11,0 ГПа.

Хромування в проточному електроліті. Процес хромування проводиться при русі електроліту відносно деталі зі швидкістю 8 – 100 см/с і густині струму до 150 – 200 А/дм². Хромування в проточному електроліті дозволяє отримати вихід металу по струму до 20 – 22 %, а швидкість відкладення хрому в залежності від складу електроліту та режиму електролізу до 140 – 160 мкм/год. Даний спосіб хромування доцільно застосовувати для відновлення внутрішніх робочих поверхонь великогабаритних деталей, а також отворів у корпусних деталях під підшипники кочення в умовах централізованого відновлення деталей. Переміщення електроліту біля відновлюваної поверхні підвищує продуктивність процесу до чотирьох разів.

Установка для хромування в проточному електроліті, окрім ванни, включає насос для подачі електроліту і систему трубопроводів, а також спеціальні циліндричні аноди, які розташовуються всередині хромуваної поверхні.

Склад електроліту і режим хромування призначають залежно від необхідної товщини покриття і якості відновлюваної поверхні деталі.

Різновидом хромування в проточному електроліті є *струменеве хромування*, що застосовується для відновлення зовнішніх циліндричних поверхонь великогабаритних деталей (наприклад, шийок колінчастих валів двигунів вантажних автомобілів). При хромуванні деталь обертається з частотою 5 – 50 хв⁻¹. Струм підводиться до деталі за допомогою щіток, а електроліт подається за допомогою насоса до насадки, частина якої одночасно є анодом. Насадка виготовляється із свинцевої пластини, яка має прорізи для протікання електроліту.

Струменевий спосіб дозволяє отримати покриття без занурення деталі у ванну і вести електроосадження хрому при більш високій густині струму, ніж при звичайному хромуванні.

Хромування в ультразвуковому полі. Застосування ультразвуку значно впливає на властивості хромового покриття і викликає підвищення твердості осаду. За допомогою магнітострикційних перетворювачів в електроліті збуджуються ультразвукові коливання частотою 20 – 30 кГц, під дією яких руйнується оксидна плівка на поверхні деталі, що забезпечує високу міцність зчеплення покриття з основним металом. Хромування в ультразвуковому полі особливо доцільно для деталей, виготовлених з алюмінієвих сплавів, які піддаються інтенсивному окисненню в середовищі навколишнього повітря.

Хромування в ультразвуковому полі дозволяє застосовувати високу густину струму (до 180 А/дм² і вище), що забезпечує відносно високу продуктивність процесу хромування.

6.4. Відновлення деталей залізненням

Особливості процесу електрохімічного залізнення. Практичне застосування електрохімічного покриття залізом вперше було здійснено в 1868 р. російськими вченими Б. С. Якобі і Є. І. Клейном.

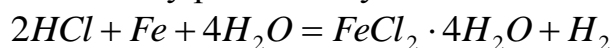
Процес відновлення деталей залізненням в порівнянні з хромуванням ха-

рактизується більш високими техніко-економічними показниками: застосування більш дешевих електролітів, розчинних анодів, більш високих густин струму і швидкостей осадження металу, тобто процес залізнення відрізняється значно меншою тривалістю та вартістю у порівнянні з хромуванням. Тому залізненням можна відновлювати деталі з великим зносом.

Залізнення може здійснюватися в гарячих і холодних електролітах. Гарячі електроліти з температурою 50 °С і більше є більш продуктивними і отримали широке поширення у виробництві.

За хімічним складом гарячі електроліти поділяються на хлористі і сірчаноокислі. Сірчаноокислі електроліти порівняно з хлористими менш агресивні по відношенню до матеріалу ванни і деталі. Для приготування хлористих електролітів застосовується хлорид заліза ($\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$); для сірчаноокислих електролітів використовують сульфат заліза ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$).

У виробничих умовах приготування хлористого електроліту здійснюється шляхом травлення в соляній кислоті стружки з маловуглецевої сталі 10 або 20, попередньо знежиреної в 10 %-ому розчині каустичної соди



Технологічний процес залізнення. Як і при хромуванні, технологічний процес нанесення електрохімічних покриттів залізом складається з підготовчих операцій, осадження металу та заключних операцій.

Підготовка деталі для залізнення включає: анодне травлення, яке здійснюється з метою видалення з поверхонь оксидної плівки; протравлення поверхні для виявлення кристалічної структури металу; пасивування поверхні, тобто утворення пасивної плівки, яка захищає поверхню від взаємодії з електролітом при розміщенні деталі у ванну для залізнення до моменту включення струму, так як електроліт чинить окислювальну дію на поверхню металу деталі.

Анодне травлення рекомендується виконувати в електроліті, що містить 30 %-ву сірчану кислоту (H_2SO_4) і сульфат заліза ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) у кількості 10 – 30 г/л; густина струму $D_k = 60 - 80 \text{ А/дм}^2$, температура електроліту $t = 18 - 25 \text{ }^\circ\text{C}$; тривалість – 2,0 – 3,0 хв. Катодами слугують свинцеві пластини.

Залізнення здійснюється в сталевих ваннах, внутрішня поверхня яких футерована кислотостійким матеріалом. Враховуючи підвищену агресивність хлористих електролітів, в якості футеровки для ванн застосовують графітові плитки, просочені смолою, а також вуглеграфітові плитки, матеріалом для яких є *ангеміт* АГМ-1, отриманий просоченням графіту фенолформальдегідною смолою. Плитки кріпляться за допомогою замазки *арзаміт* 4 або 5.

Для футеровки ванн може бути використаний напівебоніт, ебоніт та діабазові плитки на кислототривкій замазці.

Ванни для залізнення виготовляють також з фаоліту (фенолформальдегідна пластмаса).

В авторемонтному виробництві застосовуються хлористі електроліти трьох типів: висококонцентровані (№1); середньоконцентровані (№2); малоко-нцентровані (№3), характеристика яких наведена в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3-Склад електролітів та режими отримання електрохімічного покриття залізом

Найменування хімікатів і параметри режиму	Одиниці виміру	Електроліт		
		№1	№2	№3
Хлорид заліза ($\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	г/дм ³	600 – 800	400 – 450	200 – 220
Соляна кислота (HCl)	г/дм ³	2,0 – 3,0	1,0 – 2,0	1,0 – 1,5
Хлорид марганцю ($\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	г/дм ³	–	8,0 – 12,0	8,0 – 12,0
Температура електроліту	°С	75 – 95	65 – 85	60 – 80
Густина струму (D_k)	А/дм ²	80 – 90	80 – 90	30 – 50
Мікротвердість (H_μ)	ГПа	1,2 – 2,0	2,5 – 4,5	4,5 – 6,5
Товщина покриття (h_{max})	мм	2,0 – 3,0	до 2,0	0,8 – 1,5
Густина електроліту	г/см ³	4,3	1,23	1,19

При залізненні застосовуються розчинні аноди, які виготовляють з малоуглецевої сталі 10 або 20, або з електротехнічного заліза марки А. Для зменшення забруднення електроліту аноди поміщають в чохли із склотканини. На 1 дм³ робочого об'єму ванни повинна припадати площа відновлюваних поверхонь деталей 0,015 – 0,025 дм². Електрохімічний еквівалент заліза $c = 1,042$ г/А·год; вихід металу по струму $\alpha = 85 - 95$ %; швидкість осадження – 150 – 200 мкм/год.

Властивості залізних покриттів залежать від режиму їх нанесення. Твердість покриття збільшується з підвищенням катодної густини струму і зниженням температури (рис. 6.4).

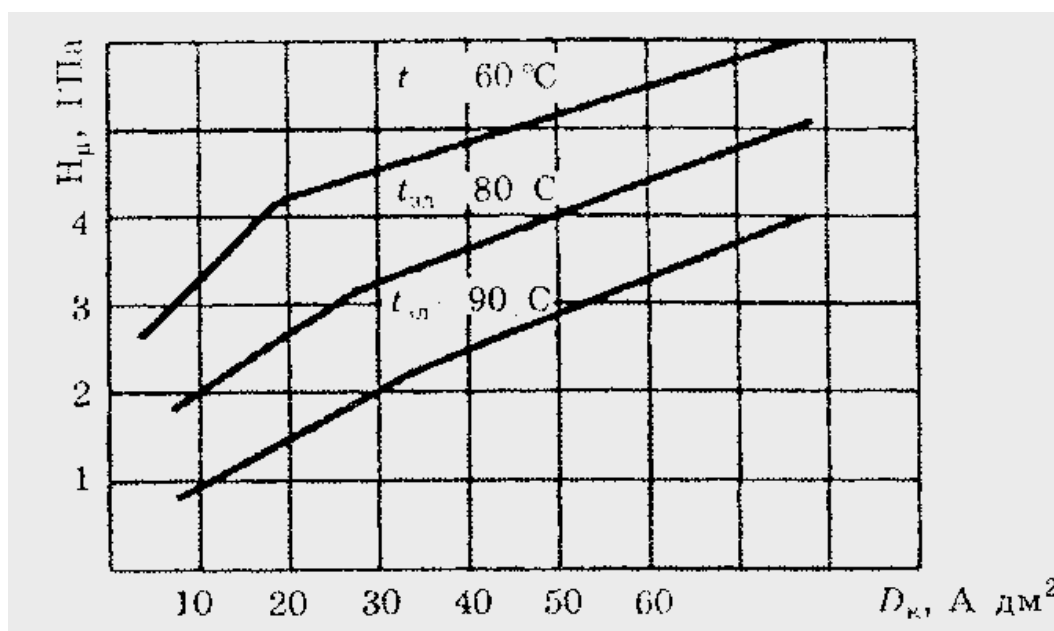


Рис. 6.4. Залежність мікротвердості залізних покриттів від густини струму і температури електроліту

Електрохімічне залізне покриття має високу міцність зчеплення з деталлю (400 – 450 МПа). Зносостійкість покриття наближається до зносостійкості деталей, виготовлених зі сталі 45, загартованої ТВЧ. Втомна міцність деталей, відновлених залізненням, знижується в залежності від режиму на 10 – 30 %, причиною чого є розтягуючі внутрішні напруження в покритті.

Для відновлення зношених поверхонь корпусних деталей застосовують позаваннове протічне залізнення, яке підвищує продуктивність в 10 – 15 разів і покращує якість покриття. В якості прикладу на рис. 6.5 наведена установка для відновлення деталей способом позаваннового залізнення в проточному електроліті.

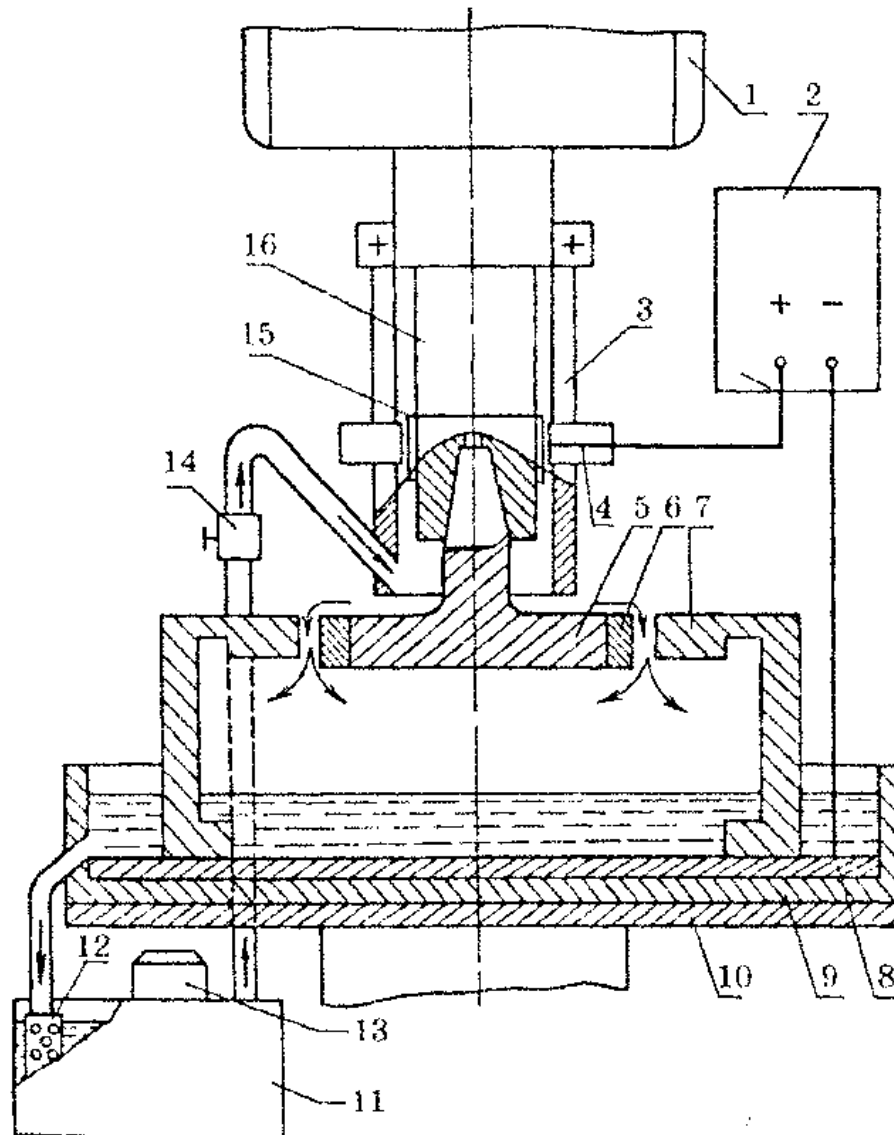


Рис. 6.5. Установка позаваннового залізнення в проточному електроліті:

1 – вертикально-свердильний станок; 2 – випрямлювач; 3 – кронштейн; 4 – щітки; 5 – анод; 6 – чохол; 7 – відновлювана деталь; 8 – плита; 9 – піддон; 10 – стіл станка; 11 – ванна; 12 – фільтр; 13 – насос; 14 – кран регулювання швидкості циркуляції електроліту; 15 – струмознімач; 16 – шпindel верстату

Після нанесення покриття виконують заключні операції технологічного процесу: промивання деталей в гарячій воді, потім нейтралізація від залишків електроліту в 10%-му розчині каустичної соди при $t_0 = 70 - 80$ °С протягом 5 –

10 хв, після чого знову промивають деталі в гарячій воді. Нарешті здійснюють демонтаж деталей з підвісних пристосувань, зняття ізоляції, контроль якості покриття і шліфування під остаточний розмір.

Залізнення застосовують при відновленні поверхонь деталей із зносом більше 0,2 мм. На практиці залізненням відновлюють шийки валів і осей, що входять в рухомі і нерухомі з'єднання, поверхні отворів під підшипники в корпусних деталях і інші елементи деталей.

6.5. Відновлення деталей електроконтактним способом

Сутність процесу. Електроконтактний спосіб нанесення покриттів застосовується при відновленні зношених поверхонь деталей, що мають невеликий знос. Ним можуть бути отримані покриття міддю, нікелем, хромом, цинком, залізоцинковим сплавом та іншими металами.

Сутність процесу електроконтактного способу полягає в нанесенні шару металу на відновлювану поверхню деталі шляхом приведення в контакт з деталлю спеціального електроду, що складається з струмопровідного пристрою і адсорбуючого матеріалу. Адсорбуючий матеріал (ватно-марлевий тампон, скловолокно, бавовняна тканина та ін.) насичується електролітом і грає роль електролітичної ванни. При включенні струму в ньому відбувається процес електролізу. Деталь з'єднується з негативним полюсом джерела постійного струму, електрод – з позитивним.

При включенні струму на поверхні деталі відбувається відкладення металу, сіль якого знаходиться в електроліті. Для відновлення чавунних і сталевих деталей застосовується цинковий електроліт. Електролітичний цинк володіє достатньою твердістю і добре витримує робочі навантаження. Електроліт не шкідливий для організму людини.

Схема процесу відновлення деталей електроконтактним способом приведена на рис. 6.6.

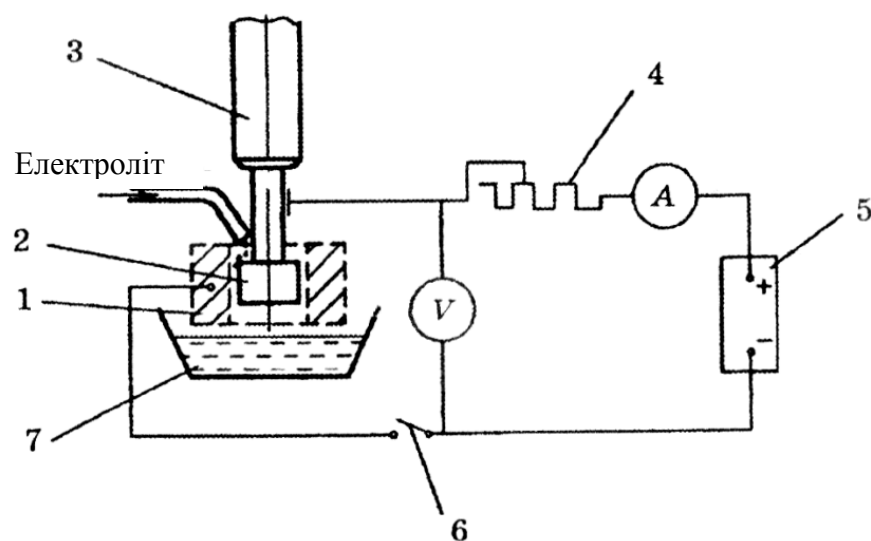


Рис. 6.6. Схема установки для нанесення покриттів електроконтактним способом: 1 – деталь; 2 – анод; 3 – шпиндель вертикально-свердильного верстату; 4 – реостат; 5 – випрямляч; 6 – вимикач; 7 – ванночка

Установка для нанесення покриття електроконтактним способом з метою відновлення розміру посадкових отворів чавунних і сталевих корпусних деталей може бути змонтована на вертикально-свердильному верстаті. Електрод знаходиться в шпинделі верстата. Електроліт на електрод подається за допомогою насоса з бачка.

Процес здійснюється при відносному переміщенні анода і катода зі швидкістю 10 – 20 м/хв.

Джерелом струму зазвичай служить селеновий випрямляч з вихідною напругою 24 В і струмом до 200 А.

Технологічний процес відновлення зношених отворів складається з декількох операцій, найважливішою з яких є підготовка до відновлення. Вона включає миття і дробоструминну або абразивну обробку деталі. Потім деталь встановлюється на столі верстату, суміщується вісь відновлюваного отвору з віссю обертання шпинделя верстата. Відповідний розмірам отвору електрод закріплюють в шпинделі верстата, вводять в отвір і включають подачу електроліту.

Зовнішній діаметр d_e струмопідвідного елемента електрода визначається за формулою:

$$d_e = D_0 - 2(\delta + \Delta),$$

де D_0 – діаметр відновлюваного отвору, мм;

δ – товщина адсорбуючого шару в стислому стані, мм;

Δ – зазор між адсорбуючим шаром і поверхнею отвору, мм.

Для отворів діаметром 50 – 150 мм приймають: $\delta = 2,5 - 3$ мм; $\Delta = 1,5 - 2,0$ мм.

Перед нанесенням покриття із цинку застосовують електроліт, що складається із сульфату цинку ($ZnSO_4$) – 600 – 700 г/л і борної кислоти (H_3BO_3) – 30 г/л. Густина струму $D_k = 250 - 300$ А/дм². Швидкість нанесення покриття складає 8 – 10 мкм/хв. Вихід металу по струму – 70 – 75 %; електрохімічний еквівалент – 1,220 г/А·год. Температура аноду піднімається до 100 °С. Електроліт є охолоджуючою рідиною.

Значення сили струму I для контролю процесу по амперметру визначають за формулою:

$$I = D_k \cdot S,$$

де S – площа відновлюваної деталі, см².

$$S = \frac{\pi D \alpha H}{360},$$

де D – діаметр відновлюваного отвору, см;

α – кут контакту електроду, град;

H – висота циліндру відновлюваного отвору, см.

При нанесенні мідного покриття електроліт складається із сульфату міді ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) – 250 г/л; сірчаної концентрованої кислоти (H_2SO_4) – 50 г/л; густина струму – 200 – 250 А/дм²; температура електроліту – кімнатна; вихід по струму – 90 %.

При нанесенні покриття із заліза застосовується хлористий електроліт ви-

сокої концентрації (до 600 г/л хлориду заліза) і густиною струму 200 А/дм². Твердість покриття складає 5,8 – 6,0 ГПа.

Електроконтактний спосіб дозволяє відновлювати посадкові отвори, не вдаючись до складного технологічного устаткування, відрізняється невеликими затратами праці, високою продуктивністю, дешевизною електроліту і відносною безпечністю для організму людини. Міцність зчеплення цинку з металом деталі становить 20 МПа.

На авторемонтних заводах електроконтактний спосіб нанесення цинкового покриття застосовується для відновлення отворів під підшипники кочення в коробках передач і ступицях коліс автомобілів.

6.6. Захисно-декоративні покриття

Сутність процесу. В автомобілебудуванні і в авторемонтному виробництві широко застосовують електрохімічні покриття як для захисту деталей від корозії, так і для надання їм декоративного зовнішнього вигляду. За родом захисної дії електрохімічні покриття підрозділяються на анодні і катодні.

При з'єднанні двох металів з різним електродним потенціалом у присутності корозійного середовища утворюється гальванічний елемент, в якому більш благородний метал (з більш високим електродним потенціалом) стає катодом, а менш благородний – анодом. З двох металів завжди руйнується менше благородний метал, тобто анод. На підставі даних про сумісність металів з точки зору розвитку корозії складають електрохімічні ряди, в яких метали розташовують у порядку убутання електродного потенціалу – від найбільш благородного до найменш благородного металу. Чим більше благородний один метал по відношенню до іншого, тим сильніше схильність до корозії сполуки, що знаходиться в корозійному середовищі.

На цьому заснований електрохімічний, або анодний, захист металів: менш електронегативний метал (наприклад, залізо) покривається більш електронегативним (наприклад, цинком). В цих умовах залізо, покрите цинком, не буде піддаватися корозії, так як кородує цинк, захищаючи від окислення залізо.

При катодному захисті деталей з більш електронегативного металу покривають менш електронегативним металом. Катодні покриття надають захисну дію в умовах ізоляції деталей від впливу корозійного середовища. Для сталевих деталей катодними покриттями є нікелеві, хромові, мідні.

Найбільше застосування знайшли багат шарові катодні захисно-декоративні покриття. Найбільшою стійкістю проти корозії та декоративними властивостями володіють чотири шарові покриття, одержані шляхом послідовного нанесення шарів нікелю, міді, нікелю та хрому. Перший шар нікелю товщиною близько 5 мкм забезпечує високу міцність зчеплення покриття з основним металом деталі. Потім наносять шар міді товщиною до 30 мкм, який завдяки невеликій пористості міді забезпечує добрий захист від проникнення корозійного середовища. Другий шар нікелю, товщиною біля 20 мкм, надає покриттю декоративні властивості забезпечує міцність зчеплення зовнішнього шару хрому (товщиною 1-2 мкм), який захищає нікель від механічних пошкоджень.

Технологічний процес нанесення захисно-декоративних покриттів анало-

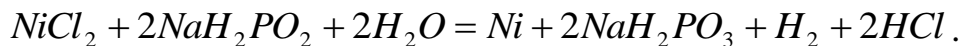
гічний нанесенню зносостійких покриттів. Проте в процесі підготовки поверхні деталі до нанесення покриття і обробки після нанесення покриття необхідно здійснювати полірування поверхні, яке виконують войлочними кругами з пастою ГОІ.

Захисно-декоративні покриття застосовуються при виготовленні і ремонті кузовів легкових автомобілів для відновлення декоративних елементів.

6.7. Відновлення деталей хімічним способом

Хімічне нікелювання. Сутність хімічного способу отримання покриття металевим нікелем заснована на відновленні іонів нікелю до металу під дією відновника – гіпофосфіту натрію. Останнім часом в якості відновника запропоновані також боранат і боразан.

Основою хімічного нікелювання є реакція відновлення нікелю з його хлоридів солями-відновлювачами гіпофосфіту натрію:



Процес хімічного осадження нікелю є каталітичним і відбувається спонтанно тільки на металах, які є для нього каталізаторами (нікель, кобальт, паладій). На залізі і алюмінії відбувається витіснення з розчину нікелю, який і служить каталізатором. Хімічне нікелювання мідних і латунних деталей може бути досягнуто в результаті приведення їх на 0,5–1,0 хв в контакт із залізом, нікелем або алюмінієм. З цією метою застосовується також занурення деталей в розчин паладію, утворювана тонка плівка якого виконує каталітичну дію.

Хімічним способом можна нікелювати також неметалеві деталі (пластики, кварц, скло, кераміку). Для цього деталі перед нікелюванням занурюють на 1–2 хв у розчин, що містить 10 г/л хлориду олова ($SnCl_2$) і 40 мл/л соляної кислоти (HCl) або в розчин $SnCl_2$ в етиловому спирті (10 г/л), а потім в розчин, що містить 0,2–0,3 г/л $PdCl_2 \cdot 2H_2O$ на 3–5 хв.

Хімічне нікелювання дозволяє отримувати тверде і щільне покриття на поверхнях деталей складної форми, в тому числі і на внутрішніх поверхнях з метою їх зміцнення і відновлення (плунжерні пари паливних насосів, торцеві поверхні поршневих кілець).

Отримане покриття являє собою сплав нікелю з фосфором, приблизний склад якого 90–95% нікелю, 5–10% фосфору.

Хімічні нікелеві покриття володіють наступними властивостями: щільність 7,9 г/см³; температура плавлення 890 °С; міцність зчеплення на середньовуглецевій сталі 185–370 МПа; твердість покриття без термічної обробки 45 HRC; при нагріванні до температури 350–400 °С і годинній витримці міцність підвищується до 67 HRC. При цьому міцність зчеплення з основним металом збільшується до 210–420 МПа. Однак нагрів не рекомендується через порушення термічної обробки деталі. Підвищення твердості при термічній обробці пояснюється кристалізацією фосфідів нікелю.

Для хімічного нікелювання застосовується емальована ванна (посудина) з розчином і підігрівальний пристрій. Підігрів може здійснюватися парою, газовими та електричними нагрівачами. Підготовка поверхні до покриття полягає в

механічній обробці, знежирюванні і мийці. Застосовують наступні склади розчинів і режим роботи (табл. 6.4).

Таблиця 6.4 – Розчини для хімічного нікелювання

Склад розчину і основні параметри	Концентрація компонентів г/л						
	1	2	3	4	5	6	7
Хлорид нікелю ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	–	17	6	20	–	30	–
Сульфат нікелю ($\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	20	–	–	–	20	–	50
Гіпофосфіт натрію ($\text{NaH}_2\text{P}_2\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$)	10	–	8	24	24	20	72
Гіпофосфіт кальцію ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7) \cdot \text{H}_2\text{O}$)	–	10	–	–	–	–	–
Оцтовокислий натрій ($\text{NaC}_2\text{H}_3\text{O}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)	8	8	5	–	10	–	40
25-вілсотковий розчин гідроксиду амонію (NH_4OH)	–	–	–	50-60	–	–	60 мл /л
Шавелевокислий амоній ($(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)	–	–	–	–	–	–	150
Склад розчину	Концентрація компонентів г/л						
	1	2	3	4	5	6	7
Хлорид амонію	–	–	–	30	–	25	–
Лимонокислий натрій ($\text{NaCH}(\text{OH})\text{CO}_2\text{H}$)	–	–	–	45	–	150	–
Температура розчину, С	85-90	85-90	80-95	82-85	90-96	85-90	85-87
Кислотність, рН	4,5-5	4-5	4,5-5,5	8-9	4,5-5	4,5-5	8,2
Швидкість осадження, мкм/ч	8-10	8-10	10-12	20-22	22-24	20-22	12

Нікель-фосфорне покриття знаходить все більш широке застосування як зносостійке покриття. За даними лабораторних досліджень, Ni-P-покриття володіє в 2–3 рази меншою зносостійкістю в порівнянні з хромовим покриттям, однак спряжену сталеву поверхню зношує в 2 рази менше, ніж хромове покриття; має високу щільність і рівномірність по товщині.

Нікель-фосфорне покриття має високу міцність зчеплення з алюмінієвими сплавами, що дозволяє використовувати його для підвищення зносостійкості поверхонь тертя з алюмінієвих сплавів, їх зносостійкість збільшується в 10-15 разів.

В даний час отримують хімічні сплави нікелю з кобальтом та іншими металами, хімічні нікелеві покриття з включеннями бору, які дозволяють покращити механічні властивості нікелевих покриттів, підвищити твердість, збільшити стійкість в умовах знакозмінного навантаження і т. д.

Основними перевагами способу хімічного нікелювання є: висока твердість; виняткова рівномірність покриття; відсутність потреби в електрообладнанні та в площах для його розміщення; розчини для хімічного нікелювання можна використовувати багаторазово.

Для забезпечення стійкості процесу хімічного нікелювання останнім часом запропоновано щавлевокислі розчини. Стабілізуюча дія щавлевої кислоти на процес відновлення нікелю виражається в усуненні випадання опадів фосфіту нікелю (NiHPO_3). Іони нікелю зв'язуються в міцні комплексні з'єднання, і в результаті унеможлиблюється їх з'єднання з утворюваними в процесі реакції іонами фосфіту.

Хімічне хромування. Спосіб отримання зносостійких покриттів хімічним хромуванням поки не має широкого практичного застосування і знаходиться в стадії вдосконалення. Однак розвиток способу хімічного хромування через одержання твердих і виключно рівномірних покриттів хромом обумовлюється великим практичним значенням цього виду покриттів.

В даний час досягнута невелика швидкість осадження хрому (2,5–8,0 мкм/год).

Для отримання покриттів сталевих деталей може бути рекомендований розчин наступного складу: лимоннокислий натрій – 32 г; гіпофосфіт натрію – 32 г; фторид хрому ($\text{CrF}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) – 64 г; хлорид хрому ($\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) – 4 г; оцтова кислота – 40 мл; 20%-ий розчин їдкого натру – 40 мл; вода – 3,75 л. Температура – 72–88 °С.

Розчинення компонентів здійснюється в певній послідовності. Спочатку 2/3 необхідної кількості води підігрівається до 66 °С, а потім додають фторид хрому (CrF_3), після його розчинення додають хлорид хрому (CrCl_3), потім лимоннокислий натрій, потім гіпофосфіт натрію і останніми додаються оцтова кислота і їдкий натр. Свіжеприготований розчин працює протягом 8 годин з додаванням близько 2,8 г/л гіпофосфіту натрію через кожну годину.

Останнім часом запропоновано розчин зі швидкістю відкладення хрому 25,4 мкм/год наступного складу (в масових частинах): оцтовокислий хром – 3 ч.; лимоннокислий натрій – 4 ч.; гліколевокислий натрій – 4 ч.; оцтовокислий натрій – 2 ч.; вода – 84–86 ч. Температура розчину – 100 °С. Кислотність рН = 4–6.

Невелика кількість нікелю, який входить в покриття, використовується в якості активатора реакції. Процес ведеться в ваннах, захищених порцеляною, склом або поліпропіленом. Труднощі в роботі ванни хімічного хромування полягають в нестійкості іонів двовалентного хрому, при відновленні яких повинен осідати металевий хром. Тому додавання гіпофосфіту має на меті відновлення тривалентного хрому в двовалентний, а додавання щавлевокислих солей – зв'язування двовалентного хрому в міцний комплекс, що дозволяє потім відновлювати двовалентний хром до металевого.

В щавлевокислому розчині швидкість осадження досягає до 8 мкм/год. Склад кислого розчину: CrF_3 – 16 г/л; CrCl_3 – 1 г/л; щавлевокислий калій – 4,5 г/л; оцтовокислий натрій – 10 г/л; гіпофосфіт натрію – 10 г/л. Режим роботи: температура розчину – 74–90 °С, кислотність рН = 4–6.

В даний час запропоновані способи отримання сплавів хрому з ванадієм.

7 Відновлення деталей припіканням металевих порошків

7.1. Сутність способу і його різновиди

Сутність способу. Відомий метод порошкової металургії, який полягає в формуванні деталі із сумішей металевих порошків і їх спіканні, що надають деталі не тільки необхідну форму, але і необхідні фізико-механічні властивості. Для відновлення деталей використовується метод, який близько примикає до технології порошкової металургії і називається *припіканням металевих порошків*. Перші роботи в області припікання з'явилися в 60-х роках минулого століття і проводилися в подальшому під керівництвом члена-кореспондента НАН Білорусі Н. Н. Дорожкіна. Припікання – технологічний процес отримання покриттів, що полягає в нанесенні на поверхню деталі порошкової формовки або шару порошку і нагріванні їх до температури, що забезпечує спікання порошкового матеріалу та утворення міцного дифузійного зв'язку з деталлю. Для припікання частинок до поверхні деталі потрібні інші умови, ніж при спіканні порошків. Як правило, забезпечення умов спікання (застосування захисно-відновлюваного середовища і досягнення температури спікання) ще не призводить до припікання. Це обумовлюється низкою причин: розходженням теплофізичних властивостей порошкового шару та основи, утворенням плівок, які розділяють з'єднані поверхні частинок порошку і деталі, необхідністю створення надійного контактування частинок порошку з основою в процесі припікання т. д. Для одержання на поверхні деталі міцного шару, що має гарне зчеплення з основою, необхідно активувати поверхню деталі, порошку або того й іншого одночасно. Технологічно найбільш доступними і ефективними вважаються наступні процеси активації: 1) хімічна – введення спеціальних добавок, що зменшують окислення і руйнують оксидні плівки, 2) температурна – прискорене нагрівання та введення присадок, що знижують температуру плавлення на контактах, 3) силова, що забезпечує отримання надійного контакту з'єднаних матеріалів (часток порошку і основи). *При хімічному активуванні* в шихту вводяться активні присадки в основному у вигляді дисперсного порошку, щоб невелика за масою його кількість найбільш рівномірно розподілилася по всьому об'єму. Часто присадка поряд з відновлюваною дією знижує температуру плавлення. Для різних порошкових композицій використовують різні присадки – бору, кремнію, фосфору, нікелю та ін.

Температурне активування полягає в прискореному нагріванні, який супроводжується підвищенням активності дифузійних процесів, створенням на деякий час локальних температур, що перевищують температуру плавлення, і в зниженні температури рідкої фази за рахунок присадок, що утворюють легкоплавку евтектику. Найбільш технологічним є прискорений нагрів струмами високої частоти. Такий нагрів різко прискорює дифузійні процеси і внаслідок короткочасної витримки, необхідної для забезпечення припікання, зменшує окислення порошку і деталі, що дозволяє виключити застосування захисно-відновних середовищ або вакууму.

Силове активування процесу необхідно у всіх випадках, тому що без належного контакту часток між собою і з поверхнею деталі відсутні умови припикання, так як нагрівання розрізаних або таких, що перебувають в недостатньо тісному контакті часток не забезпечує отримання спеченої системи. Силове активування в значній мірі прискорює дифузійні процеси і поряд з температурним фактором є головним для отримання необхідних фізико-механічних властивостей шарів. Є декілька технологічних способів силового активування: статичне прикладання навантаження з одночасним нагріванням, спікання з додаванням вібрацій, тиск з використанням відцентрових сил. Одночасне застосування хімічного, температурного і силового активування є найбільш ефективним шляхом здійснення технологічного процесу припикання.

В залежності від виду нагрівання і характеру навантажень, припикання можна розділити на кілька видів: припикання в печах, електроконтактне і індукційне припикання.

7.2. Отримання пористих і самозмащувальних покриттів

Технологія припикання із застосуванням пічного нагріву складається, як правило, з двох стадій: формування шару на поверхні виробу та спікання деталі з шаром на її поверхні в печі. При пічному нагріванні протягом тривалого часу точно витримується температура, що забезпечує протікання фізико-хімічних процесів на контактах, дозволяє застосовувати захисні атмосфери при спіканні.

Формування покриттів здійснюється на пресах або магнітно-імпульсним методом. Першим способом можна отримувати пористі покриття на плоских і внутрішніх поверхнях, а магнітно-імпульсним – ще й на деталях складної форми. При додаванні в порошкову шихту твердих мастильних матеріалів (пластмас, наприклад, фторопласту) деталі можуть працювати як самозмащувальні, а також можна просочувати їх рідкими мастильними матеріалами.

Перспективність способу магнітно-імпульсного формування обумовлена можливістю створення високих (до 1000 МПа) динамічних тисків на порошковий шар, можливістю нанесення покриттів на вироби різноманітної форми, високою продуктивністю процесу. Пресування порошкового шару за даною технологією здійснюється на магнітно-імпульсних установках, робочим інструментом яких служить багатовитковий індуктор соленоїдного типу, а формоутворення здійснюється за допомогою електропровідної (мідної або алюмінієвої) оболонки, яка деформується силами, що виникають при взаємодії магнітного поля індуктора та вихрових струмів, наведених в оболонці (рис. 7.1).

Після пресування оболонку видаляють, а наступне спікання і припикання шару здійснюють у печах.

Метод магнітно-імпульсного нанесення покриттів за своїми технологічними можливостями є універсальним. Він дозволяє наносити покриття на зовнішні, внутрішні, плоскі і складні поверхні деталей, використовувати для отримання покриттів порошки чистих металів, їх композиції, кольорові і тверді сплави. Змінюючи технологічні режими нанесення покриттів, можна отримувати як пористі шари (з пористістю до 50%), так і практично компактні матеріали (з відносною щільністю 97-98%).

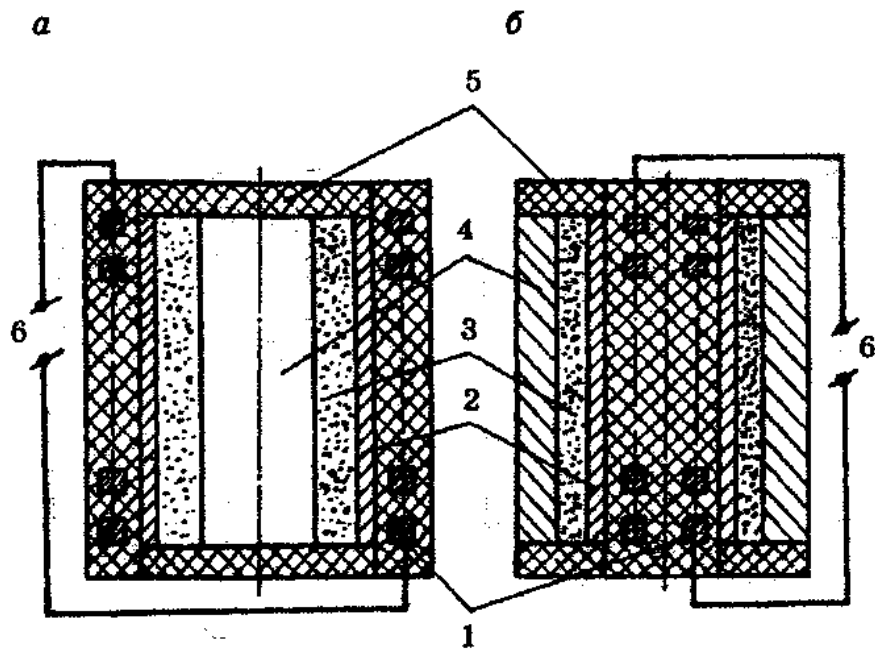


Рис. 7.1. Технологічні схеми магніто-імпульсного напресування по методу «на обтискання» (а) і «на роздавання» (б):
 1 – індуктор; 2 – струмопровідний елемент; 3 – порошок; 4 – деталь; 5 – заглушка; 6 – генератор імпульсного струму

Отримання антифрикційних покриттів високої пористості можливо як регулюванням силових параметрів напресування, так і застосуванням пороутворювачів, що додаються в шихту. Кращими пороутворюючими властивостями для покриттів, сформованих в режимі холодного напресування, володіють хлорид амонію і тетрафторборат амонію, що забезпечують лінійне збільшення пористості з підвищенням їх об'ємного змісту. Магнітно-імпульсним методом можна отримувати шари з системою каналів або кишень для роботи їх в якості самозмащувальних підшипників ковзання. Для цього в камеру для засипання попередньо встановлюють мідний дріт певних розмірів і форми. Після напресування порошку в процесі його спікання дріт розплавляється, його матеріал за рахунок капілярного ефекту просочується в пори покриття, звільняючи займаний об'єм.

Магнітно-імпульсний метод успішно використовується для відновлення тонкостінних втулок, виготовлених із бронзи й широко застосовуються в автомобілебудуванні (втулки розподільчого валу, верхньої головки шатуна, поворотного кулака та ін.). Знос таких деталей становить не більше 0,15–0,30 мм, і їх відновлюють шляхом магнітно-імпульсного відтискування на оправку, діаметр якої дорівнює номінальному внутрішньому діаметру нової деталі, з подальшим нанесенням на її поверхню порошкового шару певної товщини.

Процес відновлення втулок складається з наступних операцій: 1) підготовки поверхні втулки; 2) її термообробки (відпалу); 3) нанесення порошкового шару на зовнішню поверхню деталі; 4) магнітно-імпульсного обтискання втулки на оправку; 5) механічної обробки зовнішньої і внутрішньої поверхонь втулки.

Порошковий шар на зовнішню поверхню втулки може наноситися як до операції магнітно-імпульсного обтиснення, так і після неї. Роль електропровідного деформуєчого елемента виконує безпосередньо сама відновлювана деталь. Відновлення внутрішньої поверхні втулок по запропонованій технології може здійснюватися багаторазово аж до повного зносу основного металу. Схема магнітно-імпульсного деформування втулок через порошковий шар дозволяє відновлювати також розрізні втулки, відновлювати які іншими методами неможливо.

7.3. Індукційне припикання металевих порошків

Сутність і способи індукційного припикання. Індукційне припикання є найбільш технологічним процесом, тому що зважаючи на значне (на 2-3 порядки) прискорення дифузійних процесів при нагріванні струмами високої частоти (СВЧ) різко зменшується час витримки для забезпечення припикання. Процеси окислення не встигають відбутися, що дозволяє відмовитися від застосування захисно-відновних середовищ.

Індукційним припиканням *способом обмазування* можна отримувати шари великої пористості, в основному для антифрикційних деталей. В якості зв'язок застосовуються різні склади, найбільш ефективними є етилсилікати. Спосіб дозволяє отримувати шари із залізних і мідних порошків і композицій на їх основі. Необхідною умовою для отримання якісних шарів є введення активуючих добавок бору і кремнію (2,0–2,5%) і прикладання тиску в процесі припикання (близько 0,01–0,05 МПа), що не зменшує вихідну пористість, але забезпечує отримання достатньо міцного зчеплення покриттів з деталлю (10–50 МПа). Такі покриття, як правило, мають наскрізну пористість і добре просочуються мастильними матеріалами або легкоплавкими композиціями.

Коли необхідно отримати більш щільне покриття, замість обмазування краще застосовувати попереднє пресування шару або припикання з одночасним статичним навантаженням. За рахунок активації тиском кількість добавок бору і кремнію може бути знижено до 1,5% кожної. Зазначеним методом можна відновлювати штовхачі двигунів, вилки перемикачів коробок передач. За рахунок припикання шихти з легованих матеріалів відновлюються не тільки розміри, але і роботоздатність деталей (на 20–40% залежно від матеріалу). Припикають залізні порошки з легуючими добавками хрому, вуглецю, нікелю, а також такі матеріали, як ШХ та інші леговані порошки. Однак цей процес неприйнятний для важкопресуємих порошків (наприклад, з хромонікелевих сплавів). В цьому випадку активуючий тиск прикладається в процесі припикання.

Індукційне припикання під тиском – найбільш ефективний процес. Механічне (силове) активування забезпечує збільшення площі фактичного контакту між порошком і основою, руйнування оксидних плівок та інші явища, що сприяють формуванню шарів з високою щільністю і міцністю зчеплення з основою.

Силове активування в процесі припикання здійснюють прикладенням постійного, змінного або імпульсного навантаження.

Статичний тиск при припиканні може бути створений під дією ваги вантажу, відцентровими силами при обертанні деталі навколо своєї осі, прокаткою

роликом, електромагнітом, поступово зменшуючим навантаження при підвищенні температури нагріву.

Внутрішні циліндричні поверхні підшипників ковзання, гільз, напрямних втулок є найбільш швидкозношуваними деталями автомобілів. Для їх відновлення та зміцнення найбільш ефективним методом являється *індукційне відцентрове припикання* порошків. Вид нагрівання суттєво впливає на припікаємість порошкової системи, причому чим більша швидкість нагрівання, тим швидше відбуваються дифузійні процеси в порошковому шарі.

Для індукційного відцентрового припикання як джерело нагрівання використовують високочастотні установки. Для обертання деталей при отриманні покриттів на їх внутрішніх поверхнях можуть використовуватися токарні, свердлильні або інші верстати. У внутрішню порожнину деталей поміщають порошок, закривають її кришками, затискають в патроні верстата і підтискають обертовим центром задньої бабки. Деталь приводять в обертання. Кращим є застосування спеціалізованих установок, одна з яких представлена на рис. 7.3.

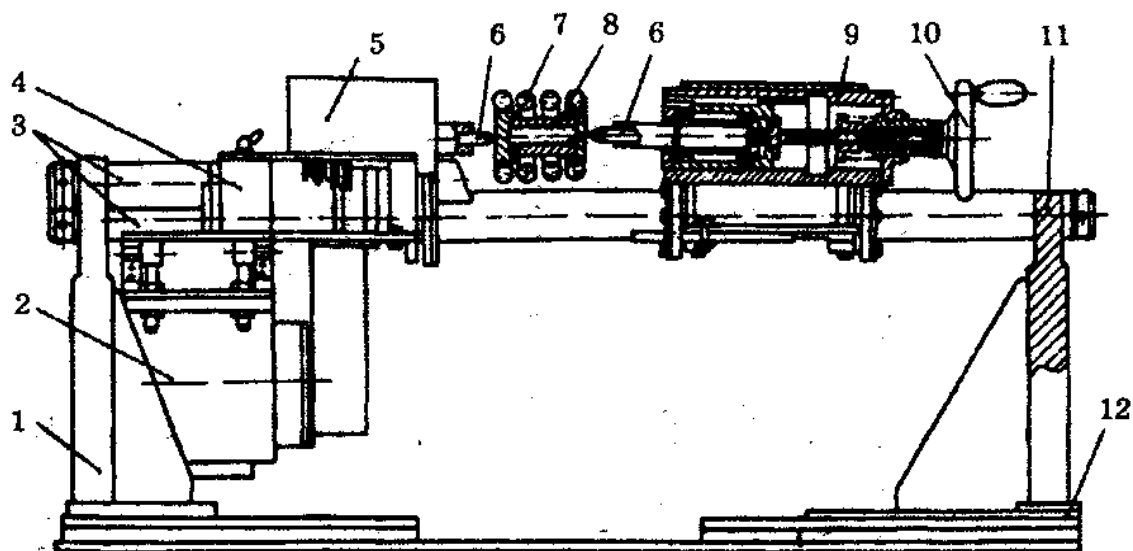


Рис. 7.3. Універсальна установка для відцентрового індукційного припикання

Установка являє собою зварену станину 12, на яку встановлено дві каретки 5 і 9. Ліва каретка з двигуном приводу 2 нерухомо закріплена на станині, а права має можливість переміщатися для відновлення деталей різної довжини. Права каретка має маховик 10, за допомогою якого деталь (наприклад, втулка з порошком усередині) затискається між обертовими центрами 6 двох кареток. Для компенсації температурного розширення деталей установки та виробу в каретці 9 є пружний елемент. Каретки мають тангенціальні затискачі 4, за допомогою яких вони фіксуються в будь-якому положенні на круглих напрямних 3, встановлених на опорах 1 і 11. Зміна частоти обертання вала лівої каретки здійснюється перестановкою паса на східчастих шківках. Для нанесення покриття деталь 8 поміщають між двома кришками (причому всередину деталі попередньо насипають дозу порошку) і закріплюють в центрах кареток. Нагрівання

здійснюється індуктором 7 із зовнішнього боку деталі. Довжина індуктора може бути рівною або меншою довжини деталі. В іншому випадку обидві каретки разом з деталлю переміщують щодо індуктора. Деталі із зовнішнім діаметром до 200 мм можна нагрівати в охоплюючому індукторі. Частота обертання для створення необхідного відцентрового тиску становить $500\text{--}1500 \text{ хв}^{-1}$ в залежності від діаметра деталі. При отриманні покриттів на поверхнях отворів великогабаритних деталей нагрівання краще здійснювати внутрішнім індуктором.

На описаній вище установці можна наносити покриття також на торцеві, конічні і сферичні поверхні деталей. З цією метою може бути використано пристрій, представлений на рис. 7.4, а.

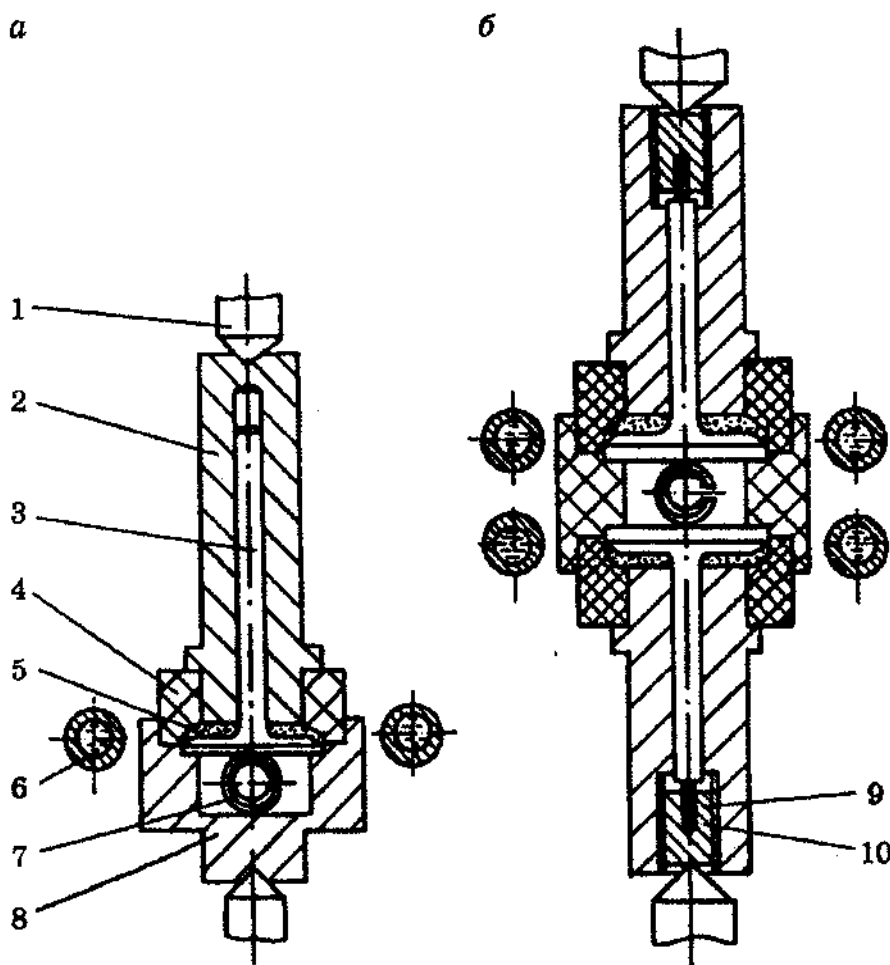


Рис. 7.4. Пристрій для нанесення покриттів на торцеві, сферичні та конічні поверхні деталей

Пристрій складається з опорного елемента 8, металеві матриці 4, нап'явної втулки 2, джерела нагріву 6 (індуктора ТВЧ). В пазу опорного елемента 8 встановлено притискач 7, виконаний у вигляді біметалічного елемента, що взаємодіє з торцевою поверхнею деталі 3. Дозу порошку 5 засипають у порожнину, утворену деталлю 3, втулкою 2 і неметалевою матрицею 4. Пристрій встановлено в центрах 1 установки з можливістю обертання. Працює воно так. У опорний елемент 8 встановлюють деталь 3, в неметалічну матрицю 4 засипають

дозу металевого порошку і встановлюють напрямну втулку 2 на хвостовик деталі. Пристрій в зборі встановлюють в центрах 1 таким чином, щоб індуктор б охоплював зону порошку і біметалічного елемента. Включають обертання приводу і індукційний нагрів. Металевий порошок 5 під дією температури і відцентрових сил переміщається в напрямку периферії деталі. Одночасно тепло, впливаючи на біметалічний елемент, виготовлений у вигляді розрізного циліндра, розширює його і він переміщає деталь 3 вздовж осі обертання, допресовуючи порошок, попередньо сформований відцентровими силами. Після виключення обертання і нагріву деталь з покриттям повертається у вихідне положення. Час нанесення покриття на одну деталь з використанням розробленого пристрою 1,5–2,0 хв.

З метою підвищення продуктивності і якості покриттів використовується пристрій, що дозволяє наносити покриття одночасно на дві деталі (рис. 7.4, б).

В деяких випадках для отримання відносно тонких покриттів доцільно застосовувати установки з вертикальною віссю обертання, в яких порошок засипають між деталлю 6 і центрувальною втулкою 2 (рис. 7.5). Деталь встановлюють на центрувальній оправці 7, яка в свою чергу кріпиться на теплоізолюючій трубі 1. Зверху деталь закривають кришкою 4 і закріплюють гвинтом 5. Нагрівання здійснюють індуктором 3. Порошок поміщається в зазор між деталлю і центрувальною втулкою вільним засипанням або додатково ущільнюється, наприклад, вібраціями. Нагрівання порошку здійснюється за допомогою теплопередачі через деталь, що зміцнюється.

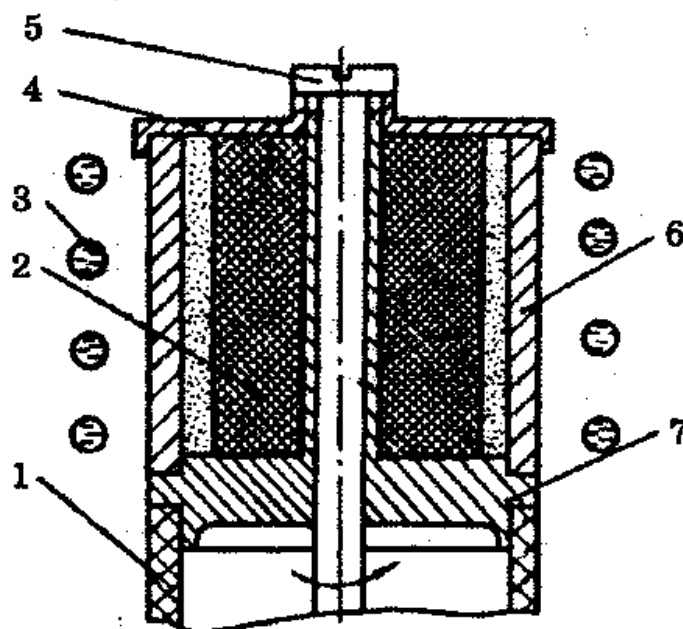


Рис. 7.5. Схе-

ма установки для індукційного припікання з вертикальною віссю обертання

ма установки для

Покриття найбільш високої якості отримують при припіканні з одночасним імпульсним силовим активуванням механічними коливаннями. Сутність способу полягає в наступному. На відновлюваній деталі проточується канавка, в яку засипається порошок, і встановлюється на майданчик з вібратором.

Нагрівання здійснюють від індуктора високочастотної установки. Після досягнення точки Кюрі включають вібрацію (амплітуда 0,3–0,4 мм, частота коливань 50 Гц). Коливання низької частоти збільшують на 15–25% швидкість кристалізації матеріалу, сприяють видаленню шлакових включень і пор, подрібнюють структуру покриття.

Ще більший ефект досягається при *віброударному активуванні процесу*. Розглянутий спосіб являє собою замкнуту коливальну систему, що включає деталь з засипаною дозою порошку і пуансон. Збудником коливань є механічний вібратор, що передає удари на деталь. Конструкція вібратора дозволяє здійснювати рух деталі по гармонійному закону незгасаючих коливань. Пуансон, залучений в коливальний процес, здійснює вільні напівгармонічні коливання з частотою, рівною власній частоті його коливання. При цьому в точці зустрічі з деталлю пуансон і деталь рухаються з найбільшими, спрямованими назустріч швидкостями. Віброударний вплив значно активує процес, дозволяючи отримувати практично безпористі покриття при більш низькій температурі.

7.4. Відновлення деталей різної форми електроконтактним припіканням

Сутність способу і технологічні схеми нанесення покриттів. Електроконтактне припікання передбачає електронагрів металевого порошку, засипаного між деталлю і електродом, з одночасним формуванням порошку в шар і спіканням його з поверхнею деталі. Енергія, необхідна для спікання порошку і припіканні його до поверхні деталі, при електроконтактному припіканні виділяється електричним струмом у вигляді теплоти безпосередньо в порошковому шарі, в основному на контактах між частинками порошку, поверхнею деталі та електрода. Процес припікання забезпечується спільною дією високої температури (0,90–0,95 температури плавлення порошку) і тиску (до 100 МПа).

Нанесені електроконтактним способом покриття володіють досить високою міцністю зчеплення з основою і низькою пористістю, причому наявність оксидних плівок на поверхні порошку або деталі практично не позначається на міцності зчеплення, так як плівка має найбільш високий електричний опір і інтенсивно нагрівається імпульсами струму з подальшим видаленням із зони з'єднання. Інтенсивний силовий вплив і висока швидкість нагрівання при електроконтактному припіканні дозволяють відмовитися від застосування хімічних активаторів і знизити необхідний час для здійснення процесу приблизно на два порядки в порівнянні з індукційним припіканням.

Режим нанесення покриттів залежить від форми поверхні і використовуваного матеріалу, але орієнтовно має бути наступним: напруга холостого ходу 3,5–4,0 В; зусилля, що прикладається до ролика, 0,40–0,60 МН/м ширини ролика, швидкість припікання 25–35 мм/с; сила струму 1200–1500 А на 1 мм ширини ролика. Пористість одержуваних покриттів 3–5%, точність нанесення шару $\pm 0,1$ мм, міцність зчеплення на відрив 150–200 МПа.

В якості матеріалів для електроконтактного припікання використовують порошки заліза ПЖ1М, леговані сталеві порошки (наприклад, ШХ15), тверді

сплави на основі заліза ПГ–С1 (сормайт) або нікелю (ПГ–СР3, ПГ–СР4) і феросплави.

Електроконтактне припикання в залежності від форми відновлюваної поверхні, розмірів деталі, а також необхідних властивостей покриттів здійснюється за різними технологічними схемами. При виборі їх враховується специфіка кожної конкретної деталі: її конструктивні особливості, матеріал, з якого вона виготовлена, фізико-механічні властивості покриття, що наноситься і т. д.

Розглянемо технологічні схеми та особливості нанесення покриттів електроконтактним припиканням на циліндричні, плоскі і торцеві поверхні деталей. Основні технологічні схеми для нанесення покриттів на зовнішні і внутрішні поверхні циліндричних деталей представлені на рис. 7.6. Незалежно від виду зміцнюючої поверхні обладнання для нанесення покриттів складається з наступних основних частин: базового верстату; контактної патрони з струмознімачем, що забезпечує обертання деталі і підведення до неї електричного струму; роликів електродів; джерела струму; переривника і пульта управління.

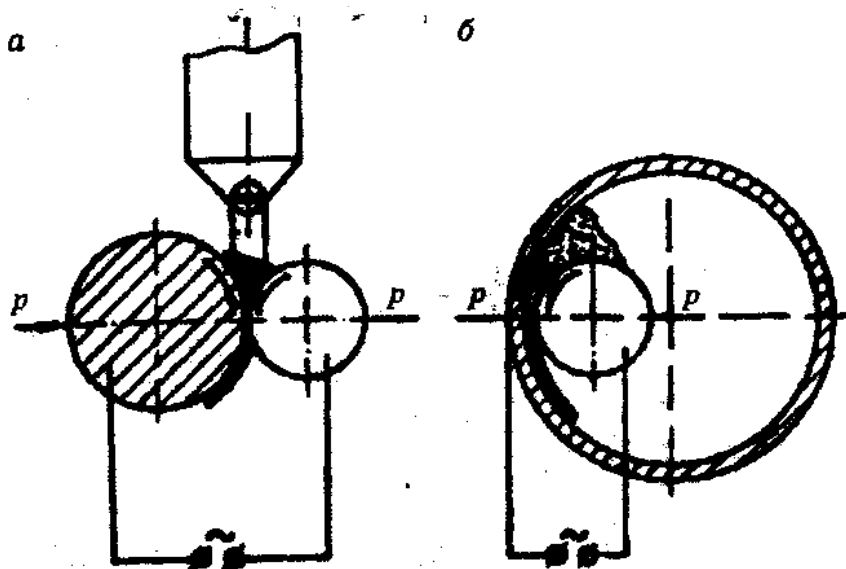


Рис.7.6. Технологічні варіанти нанесення покриттів на зовнішні (а) та внутрішні (б) поверхні циліндричних деталей

Як правило, в якості базового верстата використовують токарно-гвинторізний. Підведення струму може здійснюватися або через токарний патрон із струмознімачем, або через задню бабку. Деталь 1 встановлюється в патрон 8 верстата і затискається задньою бабкою 2 (рис. 7.7).

Ролик 3, закріплений на напрямних полозках 7, притискається до деталі за допомогою пневмоциліндра 6. Весь пристрій встановлюється на супорті токарного верстата і переміщується вздовж осі деталі з певною подачею. Струм підводиться шинами 4 до осі 5 ролика і задньої бабки. Привод верстата здійснюється через універсальний регулятор швидкості, що дає можливість змінювати швидкість припикання в широких межах.

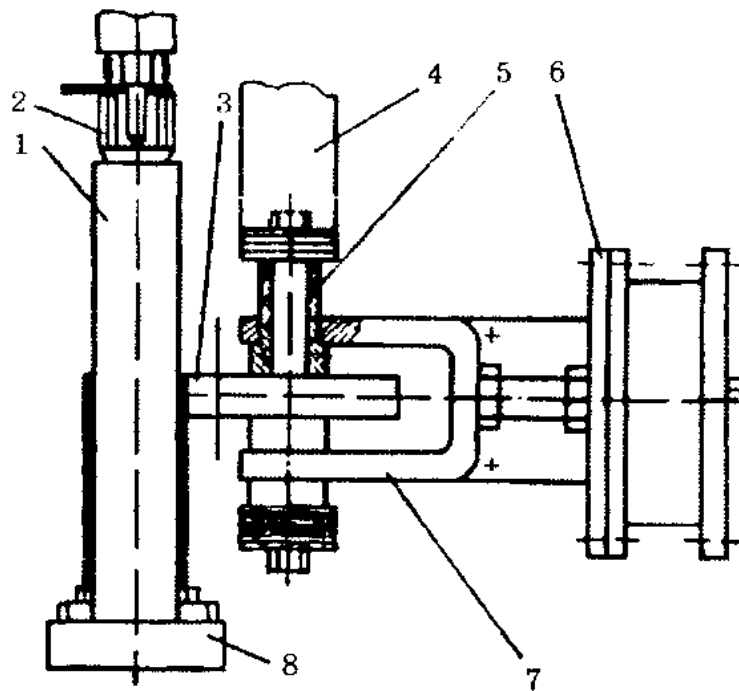


Рис. 7.7. Схема електроконтактного припікання покриттів на токарному верстаті

Подача ролика при ширині 7 мм не більше 4 мм/об, а швидкість обертання деталі і частота проходження імпульсів визначаються кількістю точок з'єднання матеріалу з деталлю (для отримання суцільного шару необхідно, щоб окремі точки перекривалися на 1/3 своєї величини). Зусилля притискання ролика 800–900 Н, сила струму 5–8 кА, час його протікання 0,05–0,08 с.

Більш високу продуктивність і якість покриттів отримують при використанні двороликової установки на базі машини для шовного зварювання МШП-150. Установка дозволяє наносити покриття з різних порошків на залізній основі: КБХ, ФБХ-6-2, УС-25 і С-27.

Випробування валів коробок передач автомобілів ЗІЛ, відновлених наплавленням порошкового твердого сплаву КБХ, показали підвищення їх зносостійкості в 5-6 разів в порівнянні з вібродуговим наплавленням.

Технологія електроконтактного наплавлення порошкових матеріалів використовується також для відновлення таких відповідальних деталей, як колінчасті вали автомобільних двигунів. Для відновлення шийок колінчастих валів двигунів ЯМЗ-238 в якості матеріалу застосовувався порошковий сплав УС-25. Є відомості про можливість використання для цих же цілей цементованого залізного порошку ПЖЗМ.

Можливе отримання покриттів електроконтактним припіканням порошків на зношених колінчастих валах двигунів ЗМЗ. Процес здійснюється при температурі, що виключає плавлення порошку і основи, тим самим усувається відбілювання чавуну і знижуються внутрішні напруження, втомна міцність при цьому знижується всього на 7–9%. Технологія відновлення чавунних колінчастих валів відрізняється високою продуктивністю (час припікання шару на одну шийку не більше 80 с), малими припусками на обробку, низькою витратою присадочного матеріалу.

Одним з перспективних напрямків відновлення кулачків і шийок розподільних валів є електроконтактне наплавлення порошків типу ФБХ-6-2, ПГ-УС-25, а також їх суміші з залізним порошком ПЖ. Технологія відновлення включає підготовку кулачків до відновлення, наплавлення порошкового матеріалу та подальшу механічну обробку. Зносостійкість при цьому підвищується в 2–3 рази, зменшується биття вала після відновлення.

Найбільш поширеною схемою зміцнення плоских поверхонь є прокатування порошкового шару між двома електродами, приєднаними до джерела струму (рис. 7.8, а). Покриття на плоску поверхню можна наносити і плоскими електродами – пуансонами. Як приклад, на рис. 7.8, б приведена схема відновлення торцевої поверхні циліндричної деталі.

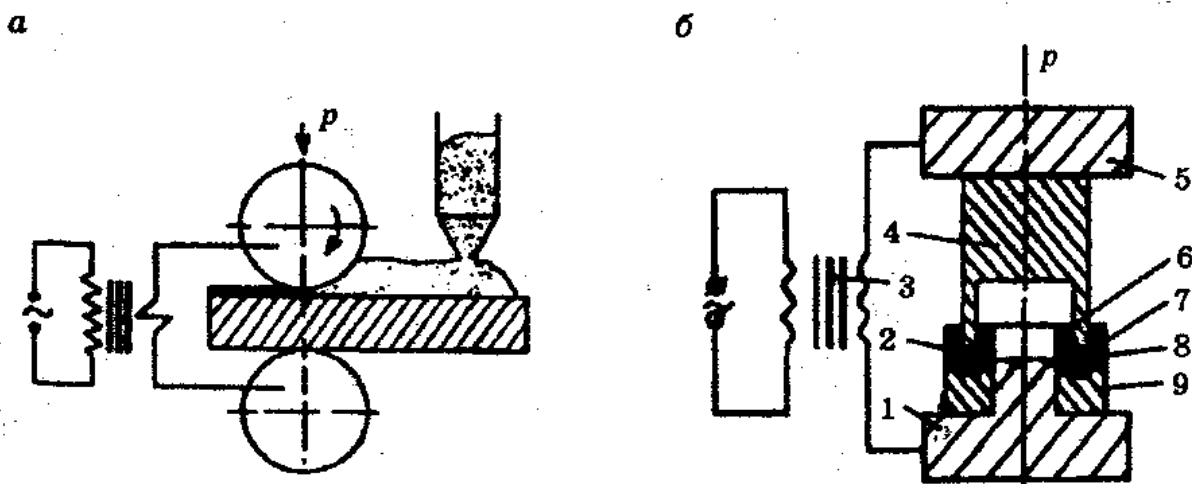


Рис. 7.8. Схема електроконтактного нанесення покриттів на плоскі (а) і торцеві (б) поверхні

Деталь 9 із зношеною торцевою поверхнею встановлюють на нижній контактній плиті пристрою. Кільцеву робочу камеру 7, ширина якої відповідає розміру зношеного паска, створюють внутрішнє 6 і зовнішнє 8 кільця з термостійкого електроізоляційного матеріалу. У камеру поміщають порошок, через який пропускають струм від джерела 3 за допомогою мідного електрода 4. Ущільнення здійснюється переміщенням верхньої контактної плити 5. З метою запобігання утворенню радіальних тріщин в шарі між мідним електродом і порошком поміщають сталеве кільце 2 товщиною 1,5-2,0 мм. Воно охороняє електрод від налипання твердого сплаву, в якості якого використовуються порошки СНГН-60 і ВСНГН-35.

Пристрій, показаний на рис. 7.9, використовується для наплавлення металевого порошку, що знаходиться в псевдорозрідженому стані, на фаску клапана. Клапани 5 поміщають в пристосування 3, при цьому їх відновлювані поверхні (фаски) знаходяться в контакті з мідним електродом 2. Псевдорозріджений шар порошку 6 створюється за рахунок проходження повітря або інертного газу через газорозподільну решітку 1. Електричний струм підводиться від джерела живлення 4 до електрода 2 і замикається через відновлюваний клапан і шар по-

рошку, що знаходиться в місці контакту цих деталей. При обертанні пристосування 3 із встановленими у ньому клапанами фаски останніх обкочуються по скошеним поверхонь електрода. Частинки порошку, що потрапляють в зазор, за рахунок електроопору розігріваються і припікаються до поверхні клапана. Необхідне зусилля притиснення клапанів до електродів створюється пружиною 7. При досить великій ємності з псевдорозрідженим порошком і невеликих розмірах деталей зазначеним способом можна одночасно відновлювати по десять і більше деталей. Змінюючи режим псевдорозрідження і час процесу, можна регулювати товщину нанесеного покриття.

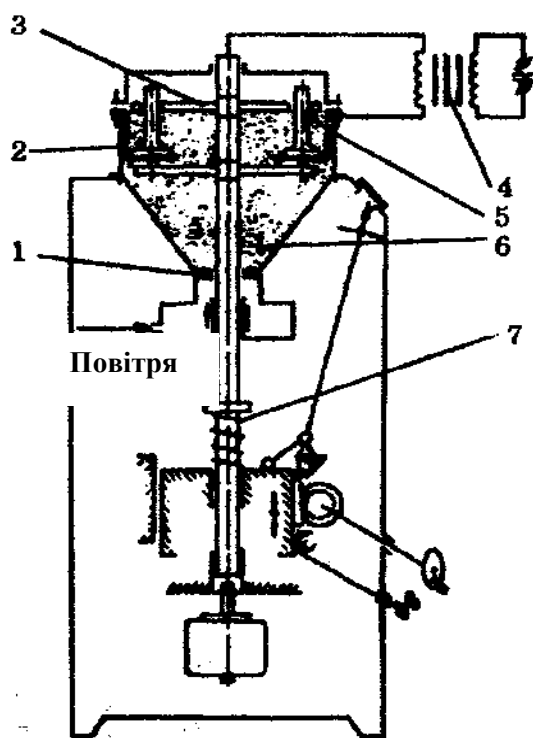


Рис.7.9. Установка для електроконтактного припікання покриття на фаску клапана

Перевагами електроконтактного способу нанесення покриттів є: висока продуктивність і низька енергоємність процесу; мінімальна зона термічного впливу струму на деталь (внаслідок малої тривалості імпульсів); відсутність необхідності в захисному середовищі зважаючи на короткочасний термічний вплив на присадочний матеріал; відсутність світлового випромінювання та газовиділення.

Порівняння економічних показників процесу електроконтактного нанесення покриттів з іншими способами відновлення деталей показує, що по ряду елементів витрат і по виробництву цей спосіб перевершує автоматичне наплавлення під флюсом, вібродугове наплавлення, електроіскрове нарощування. Орієнтовна собівартість відновлення циліндричних поверхонь деталей на 11–70% нижче, ніж при відновленні іншими способами.

8 Електрофізична обробка

8.1. Електроіскрова обробка

Електрофізична обробка застосовується в авторемонтному виробництві для зміни розмірів, шорсткості і властивостей матеріалу поверхні заготовок з використанням електричних розрядів, магнітострикційного ефекту, електронного або оптичного випромінювання, плазмового струменя.

Сутність, зміст і область застосування способу. При електроіскровій обробці металевих поверхонь використовують енергію імпульсних іскрових розрядів між електродами в газовому або рідкому середовищі. Сутність нанесення покриття і зміцнення поверхонь полягає в тому (рис. 8.1), що іскровий розряд руйнує матеріал інструменту (катода), а продукти його ерозії переносяться в газовому середовищі на заготовку (анод). На швидкість руйнування катода впливають теплофізичні властивості його матеріалу і режими обробки. При постійному режимі обробки електрод витрачається в часі рівномірно.

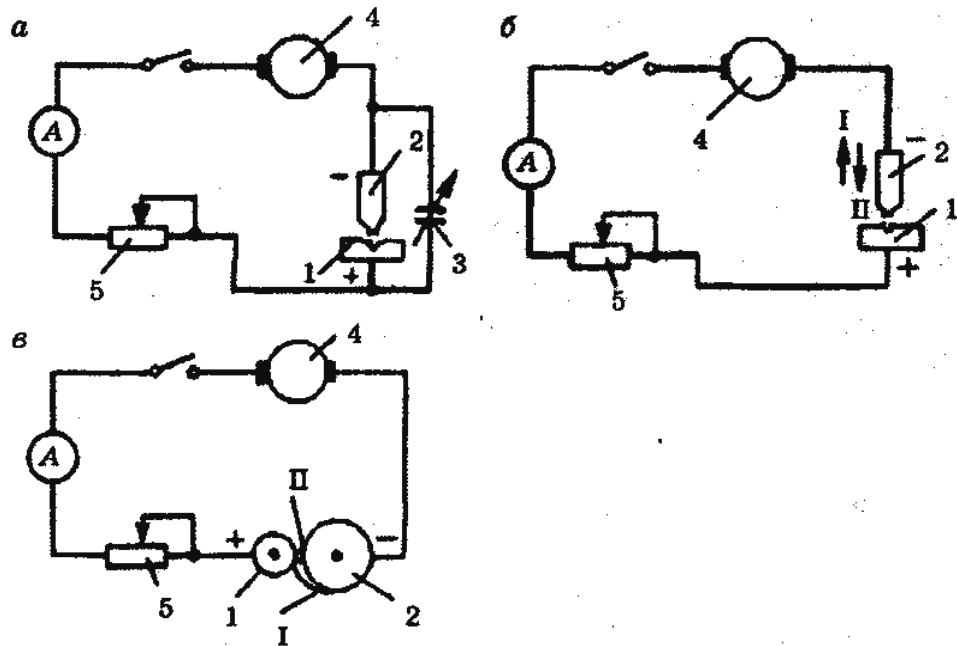


Рис. 8.1 Схеми установок для електроіскрової обробки:
а – безконтактної конденсаторної; б – безконденсаторної контактної; в – безконденсаторної безконтактної; I і II – закінчення і початок розряду;
1 – заготовка; 2 – інструмент; 3 – конденсаторна батарея; 4 – джерело постійного струму; 5 – змінний опір

Імпульси розряду тривають до 10 мкс. Значення щільності струму в середовищі перенесення електродного матеріалу досягає 10^4 А/мм². Температура середовища в каналі розряду становить 5000–11000 °С, теплота викликає плавлення фрагментів електрода і їх часткове випаровування. Пари металу розширюються і скидають з поверхонь катода розплавлений метал, який потрапляє в

газове середовище, осідає на аноді і твердне. Нанесений матеріал дифундує в метал відновлюваного елемента деталі і за рахунок швидкої кристалізації рідкої фази і локального загартування утворює тверді розчини і дрібнодисперсні карбіди. При певних режимах обробки надшвидкісне закалювання забезпечує покриттю високу твердість. Перенесення металу на поверхню заготовки формує покриття хімічного складу, близького до складу матеріалу електрода. Покриття має міцний зв'язок з основою, бо його утворення супроводжується дифузійними процесами при високій температурі.

Покриття складається з трьох шарів. Перший шар – це термодифузійна зона покриття і основного металу. Перенесений матеріал катода легує матеріал заготовки і, з'єднуючись атомарним азотом повітря і вуглецем матеріалу заготовки, утворює дифузійний зносостійкий шар. В шарі утворюються складні хімічні сполуки, нітриди і карбонітриди.

Другий (білий) шар, що не травиться, являє собою твердий розчин легуючих або карбідоутворюючих елементів, які входять до складу електродного матеріалу. Шар володіє високим опором схоплюванню і корозії.

Третій зовнішній шар, подібний газотермічному покриттю, сформований з фрагментів застиглого металу і оксидів. Структура його нагадує будову антифрикційного сплаву – частки дрібнодисперсних карбідів включені в порівняно м'яку основу.

Товщина покриття збільшується з ростом вмісту вуглецю в матеріалі заготовки і енергії одиничного імпульсу і досягає максимального значення h_{max} при значенні часу t_F . Чим ближче час обробки $t_{об}$ до часу насичення t_F (рис. 8.2), тим гірша якість покриття. Зростає шорсткість і зменшується його суцільність, воно окислюється, стає темним а дефектність структури досягає граничного значення. Обробку закінчують в моменти часу, що відповідають ділянці В-А графіка.

Продуктивність процесу і якість обробленої поверхні залежать як від співвідношення ерозійної стійкості матеріалів інструменту і заготовки, так і від режиму обробки. Ерозійна стійкість металу виражається його масою, що знімається в одиницю часу або за певну кількість циклів. Більш стійкі до ерозії елементи розташовуються ближче до кінця ряду: олово, свинець, цинк, алюміній, залізо, нікель, срібло, мідь, вуглець, вольфрам.

Нанесення твердих зносостійких покриттів товщиною до 0,1 мм відносять до зміцнення, а нанесення будь-яких покриттів більшої товщини – до наплавлення. При відновленні поверхонь, що беруть участь в терті, можна наносити покриття товщиною до 0,25 мм, а на поверхні нерухомих з'єднань – до 1,5 мм. Якщо потрібно нанести покриття більшої товщини, то застосовують катод з матеріалу з меншою ерозійною стійкістю або підвищують значення режимів обробки.

Глибина зони термічного впливу в матеріалі заготовки становить 0,8–1,0 мм. Межа витривалості деталі практично не змінюється.

Шорсткість і суцільність покриттів регулюються. На чорнових режимах обробки отримують шорсткість поверхні 3–4-го класів, а на чистових – 5–6-го класів.

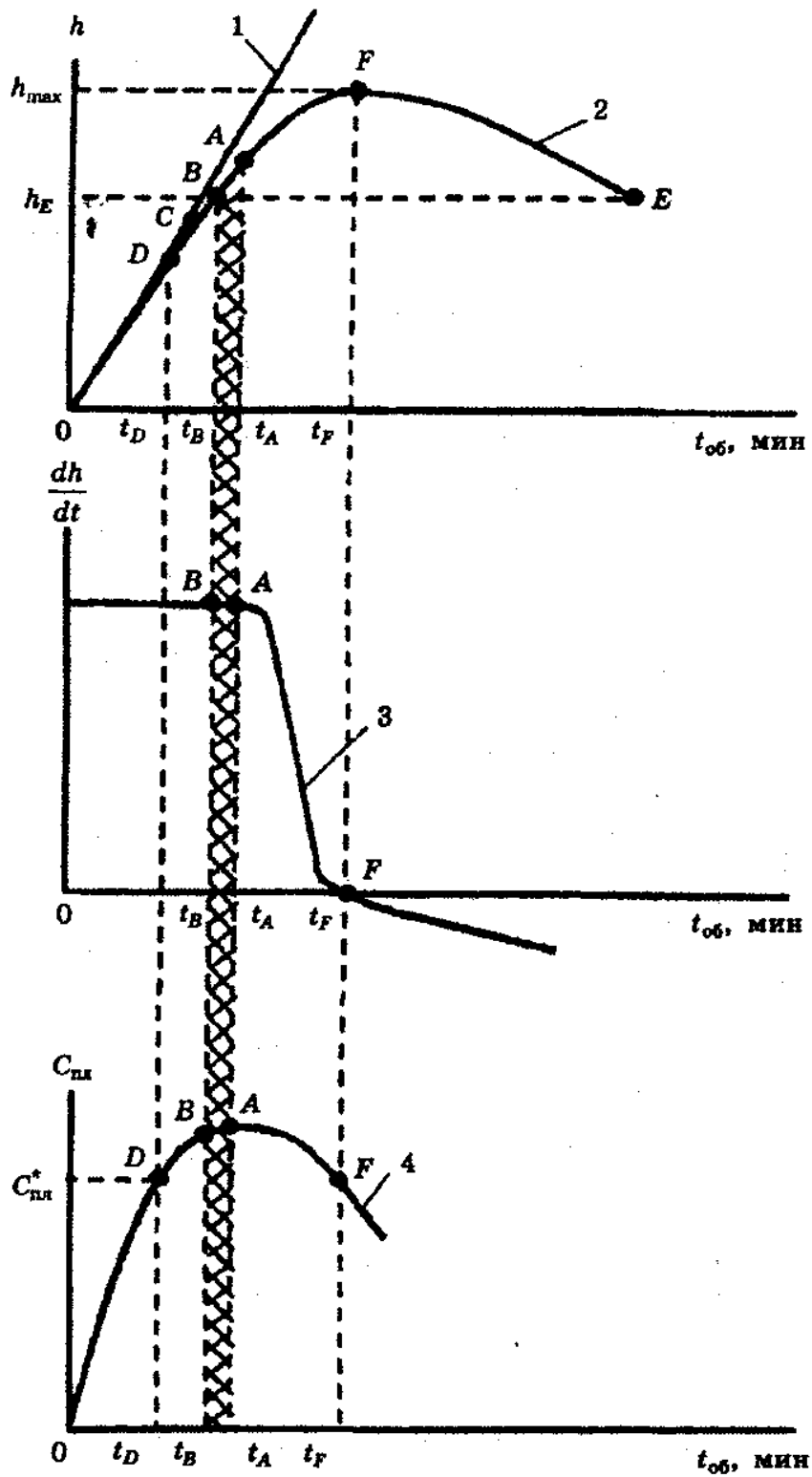


Рис. 8.2. Залежність руйнування електроду по висоті (1), товщини покриття h (2), росту товщини dh/dt (3) та зміни суцільності покриття $C_{пл}$ (4) від часу обробки $t_{об}$.
 Позначення: $0 - t_D$, $t_D - t_F$ і $t_B - t_A$ - відрізки часу, відповідно, лінійних змін характеристик покриття, їх нелінійних перетворень і оптимальних значень;

$C_{пл}^*$ - суцільність покриття, що відповідає часу t_D .

Формування мікрогеометрії і несівної здатності покриттів при електроіскровому наплавленні також має особливості. Вихідна шорсткість відновлюваної поверхні не повинна перевищувати $R_z = 10$ мкм. Поверхня після електроіскрового наплавлення істотно відрізняється від поверхонь, отриманих іншими способами. Після зняття випадково прилиплих частинок розплавленого металу на поверхні залишаються рівномірно розташовані сферичні виступи. Мікрорельєф має практично однакові характеристики по всіх напрямках уздовж поверхні. Проте із збільшенням товщини покриттів середня висота R_z , радіус заокруглень та середній крок нерівностей ростуть. При експлуатації наплавлені поверхні показують кращі результати в порівнянні з вихідними. Механічну обробку (полірування) наплавленого покриття виконують після його пластичного поверхневого деформування.

Для досягнення оптимальної площі опорної поверхні доцільно призначати як товщину шару покриття, що змінюється при обкотуванні або розкотуванні (табл. 8.1), так і припуск на абразивну обробку в частках товщини покриття.

Таблиця 8.1. – Частка товщини покриття, що бере участь в поверхневому пластичному деформуванні при зміцненні і відновленні деталей

Робочі поверхні	Зміцнені	Відновлені
Легконавантажені в нерухомих з'єднаннях	0,05–0,10	0,1–0,2
Важконавантажені в нерухомих з'єднаннях	0,1–0,3	0,2–0,4
Легконавантажені при терті ковзанні	0,2–0,4	0,2–0,5
Важконавантажені при терті ковзанні	0,4–0,6	0,3–0,7

Якщо поверхню обкотують (розкотують) роликками або кульками при тиску 5–20 % від межі текучості матеріалу, то залишкові напруження розтягу, що виникають в результаті наплавлення і знижують втомну міцність на 10–30%, практично знімаються. Опорна поверхня після пластичного деформування збільшується, а утворені канали утримують близько 0,02 мм³ оливи на кожен 1 см² площі покриття. Кут їх розкриття такий, що за рахунок поверхневого натягу оливи вони виступають над поверхнею тертя.

У ремонтних креслениках деталей вказують параметри шорсткості R_z , R_{max} , чи S_m , радіус заокруглення вершин r , довжину відносної опорної поверхні на трьох рівнях профілю $t_{20\%}$, $t_{40\%}$ і $t_{50\%}$ базову довжину l_b , а також шорсткість поверхні R_a між мастильними каналами.

Процес застосовують для нарощування та зміцнення поверхонь із зносом до 0,2 мм при високих вимогах до твердості і зносостійкості відновленої поверхні і невисоких вимогах до суцільності покриття.

За допомогою електроіскрової обробки відновлюють зношені деталі й зміцнюють ріжучі крайки інструментів (різців, фрез, штампів і др.) нанесенням твердих сплавів, а також змінюють властивості поверхонь деталей шляхом надання їм протикорозійних, жаростійких, фрикційних і антифрикційних якостей. Відновлюють шийки валів і осей, поверхні отворів під підшипники, ущільнюють контактні поверхні замість термообробки. Спосіб отримав розповсю-

дження при відновленні деталей паливної апаратури дизелів і золотників гідророзподільників, виготовлених зі сталі 15Х твердістю 56-63 HRC. Стійкість різальної частини інструментів в результаті зміцнення збільшується до двох разів. Зносостійкість деталей після електроіскрового зміцнення підвищується в 3–8 разів.

У ряді випадків після електроіскрової обробки при відновленні поверхонь підшипникових вузлів подальша механічна обробка не потрібна.

Матеріали, режими і обладнання. Для електроіскрового зміцнення застосовують матеріали (електроди): металокерамічні тверді сплави ВК6-ОМ, ВК-8, Т15К6, ТТ15К10-ОМ, Т30К4, Т60К4, ТН-20 круглого і прямокутного перерізів; мідний дріт; бронзу Бр.АЖ10- 3, Бр.АЖМц 10-3-1,5, Бр.АЖН10-4-4, ВБр.5М та ін; аналог реліту ДКВ; алюмінієво-олов'янисто-мідний сплав АОМ; сплави ВЖЛ-2, ВЖЛ-2М, ВЖЛ-13, ВЖЛ-17, В56, ЖСН-Л; сталі 65Г, 20Х13, 95Х18, ШХ-15 і ін. Застосовують також сормайт, стеліт і вольфрам.

Для забезпечення необхідних експлуатаційних властивостей відновлених поверхонь можна наносити покриття в декілька шарів з різних матеріалів. Наприклад, на сталеву або чавунну поверхню поршневого кільця наносять молібден, на нього мідь, а потім олово.

Покриття з твердого сплаву ВК6-ОМ або сталі 65Г, володіють такими властивостями. Мікротвердість дифузійної зони дорівнює 45–50 HRC. Мікротвердість покриття з ВК6-ОМ дорівнює 68 HRC, а зі сталі 65Г – 57–59 HRC. Товщина першого шару (біля поверхні) становить 3 –10 мкм, другого (білого) – 40 мкм для ВК6-ОМ і 100 мкм для сталі 65Г, третього (зовнішнього) – приблизно 43 мкм.

Покриття наносять конденсаторними установками з електромагнітними вібраторами, що забезпечують періодичний контакт інструменту і заготовки. Напруга в момент розряду конденсаторів досягає 100–150 В. Режими нанесення покриття наведені в табл. 8.2.

Таблиця 8.2. – Режими електроіскрової обробки

Режим	Сила робочого струму, А	Сила струму короткого замикання, А	Напруга, В
Чистовий	0,5–0,7	2,5	15
	0,8–1,2	3,0	25
Середній	1,2 –1,5	3,5	45
	1,6–2,0	4,5	75
Чорновий	2,0–2,5	4,8	140
	2,6–3,0	5,0	200

Найбільшого поширення набули установки моделей ЭФИ-46А, -23М, -25М, -54А.

Застосовується сім моделей модернізованих мобільних установок типу «Елітрон» і дві моделі установок «Вестрон», за допомогою яких можна наноси-

ти покриття товщиною до 0,4 мм (суцільність 60–95%) і товщиною 0,4–1,0 мм (суцільність 25–60%).

Електроіскрове нарощування і легування на модернізованій установці «Елітрон-22БМ» проводять в безвібраційному режимі. Проведена модернізація обладнання для електроіскрового легування «Елітрон-22А», «Елітрон-22Б» і «Елітрон-52БМ». Установа «Елітрон-52БМ» працює в механізованому режимі з комплектом пристроїв КМП-50М.

В установках «Вестрон-005» і «Вестрон-006» суміщені транзисторно-тиристорний і резисторно-ємнісний генератори, використані нові віброзбуджувачі з обертовими електродами і підвищена частота імпульсів струму з 100 до 800 Гц. Установки «Вестрон» дозволяють наносити покриття товщиною до 300 мкм з суцільністю більше 80%. Технологічні переміщення інструменту виконують як вручну, так і з застосуванням засобів механізації. В обох випадках переміщення електрода, тривалість обробки, режими по струму, амплітуді і частоті вібрації електроду вибирають так щоб покриття мало максимальну суцільність, рівномірну товщину і рівну поверхню, що відбиває світло.

8.2 Електромеханічна обробка

Сутність способу. Спосіб застосовують при відновленні шийок валів, що входять в нерухомі з'єднання, і при підготовці заготовок з високою поверхневою твердістю до напилення покриттів.

Сутність способу полягає в тому, що через контакт обертової заготовки з натискаючим на неї інструментом пропускають струм великої сили, внаслідок чого матеріал заготовки в місці контакту нагрівається і пластично деформується.

Від мережі напругою 220/380 В (рис. 8.3) струм проходить через понижувальний трансформатор, а перетворений струм через підвідний провід площею перетину $\sim 300 \text{ мм}^2$ – в місце контакту інструменту із заготовкою. На патроні переобладнаного токарного верстата закріплений струмознімач у вигляді мідного кільця і мідно-графітної щітки. Другий провід від трансформатора підводиться до державки, закріпленої в різцетримачі супорта з робочим інструментом із твердосплавною пластиною. Державку ізолюють від різцетримача. Зусилля натискання інструментом створюють механізмом поперечної подачі.

Сила струму досягає 300–520 А при напрузі 1–5 В, температура металу в місці контакту – 800–900 °С. Зусилля притискання інструмента до поверхні заготовки становить 200–300 Н. Робоча частина інструменту, що втискається, являє собою рівнобічну трапецію, менше основа якої повернена до заготовки і дорівнює 1 мм, а її бічні сторони утворюють між собою кут 60–70 °. Радіус робочої частини вигладжуючого інструменту дорівнює 80–100 мм.

Поздовжня подача інструменту здійснюється від ходового валика. Центри передньої поверхні інструментів знаходяться на висоті центрів.

Кількість виділеної теплоти визначається за формулою:

$$Q = Q_1 + Q_2 = t(I^2 R + P_z v),$$

де Q_1 і Q_2 – кількість теплоти, отриманої від дії струму, а також від тертя і деформування металу, Дж;

t – час обробки, с;
 I – сила струму, А;
 R – електричний опір, Ом;
 P_z – сила тертя, Н;
 v – окружна швидкість поверхні заготовки, м / с.

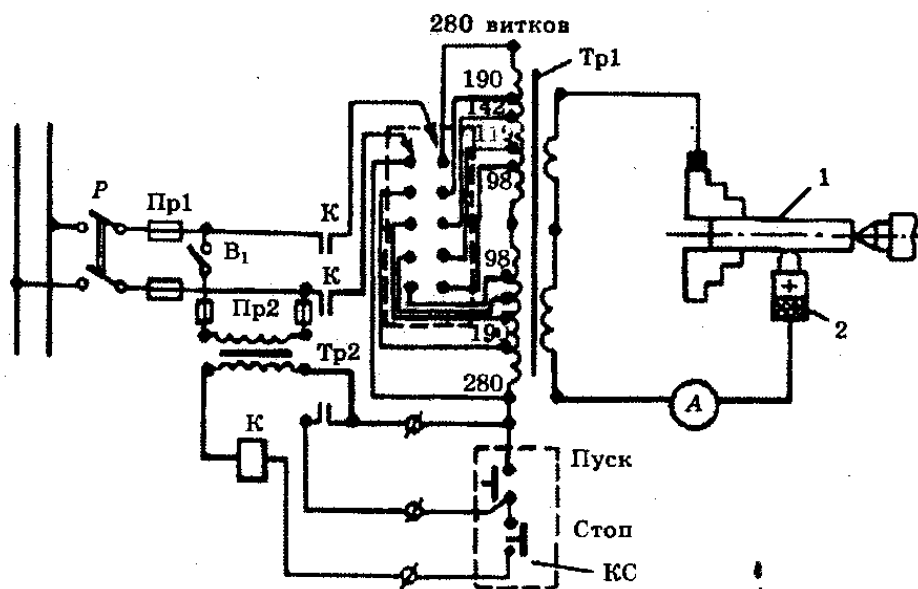


Рис. 8.3. Схема установки для електромеханічної обробки:

P – пакетний вимикач; K – котушка і контакти магнітного пускача; $КС$ – переносна кнопочна станція; $Тр1, Тр2$ – трансформатори; $Пр1, Пр2$ – запобіжники; $В1$ – вимикач; 1 – заготовка; 2 – інструмент

Застосування способу. На циліндричній поверхні заготовки діаметром D при обробці (рис 8.4) витискається спіральний гребінь діаметром D_1 . Потім інструмент для витискання замінюють іншим з твердосплавною згладжувальною пластиною. При цьому верхня частина гребеня розігрівається, а згладжувальна пластина деформує його на заданий розмір D_2 , який більший діаметра заготовки D .

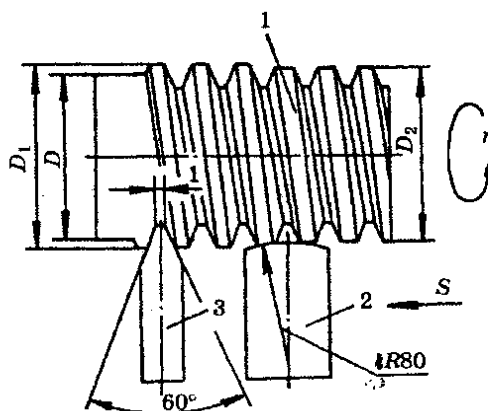


Рис. 8.4. Схема втискання і вигладжування заготовки:

1 – заготовка; 2 – вигладжу вальний інструмент; 3 – втискаючий інструмент; n – кутова частота обертання заготовки, $хв^{-1}$; S – подача інструменту, мм/об

При утворенні спірального гребеня, а потім при згладжуванні його витків спостерігається нагрів невеликих обсягів металу з подальшим швидким їх охолодженням за рахунок відведення теплоти вглиб заготовки. При цьому на поверхні заготовки утворюється загартований шар підвищеної твердості завтовшки 0,2–0,3 мм.

Режим вдавлювання матеріалу наступний: окружна швидкість поверхні заготовки 2–8 м / хв (залежно від її діаметра і твердості матеріалу); зусилля вдавлювання інструменту 700–800 Н для заготовок з нетермооброблених сталей і 900–1200 Н для заготовок із загартованих сталей; сила струму 420–520 А; подача 1–2 мм / об; число ходів 2–3.

Режим згладжування: окружна швидкість поверхні заготовки 5–8 м / хв; зусилля на інструмент 300–400 Н; сила струму 300–400 А; подача 0,4–1,5 мм / об; число ходів 1–2. В середньому збільшення діаметру заготовки після вдавлювання інструменту становить 0,4 мм, а після вигладжування – 0,2 мм.

Збільшення діаметра шийки валу після видавлювання матеріалу (ΔD_B , мм) дорівнює:

$$\Delta D_B = \frac{S \Delta D_C k}{S - 3,46 \Delta D_C},$$

де S – подача інструменту при його вдавлюванні, мм / об;

ΔD_C – необхідне збільшення діаметра шийки валу після згладжування, мм;

k – коефіцієнт, який для середніх режимів обробки, при $\Delta D_B = 0,45$ мм і $S = 2$ мм / об, дорівнює 1,46.

Даний спосіб не може забезпечити суцільного контакту шийки вала з поверхнею з'єднаної деталі. Щоб зберегти міцність посадки, можна збільшити натяг (в 1,3 раза), який не викличе недопустиму деформації охоплюємої деталі.

Для відновлення суцільного контакту поверхонь використовують два способи. Перший спосіб полягає в тому, що утворені канавки між витками гребеня після проходу втискаючого інструменту заповнюють припоєм, композицією на основі епоксидної смоли та ін. При використанні другого способу в ці канавки намотують очищений сталевий дріт, який деформують і закріплюють за допомогою електроконтактного приварювання за наступними режимами: сила струму 1300–1500 А; зусилля 400–500 Н; окружна швидкість обертання заготовки 0,8–1,9 м / хв.

Електромеханічна обробка шийок валів в порівнянні з їх наплавленням виключає викривлення, вона більш продуктивна і дешева.

Електромеханічну обробку рекомендують для підготовки заготовок з високою поверхневою твердістю до напилювання, тому що вона незначно знижує втомну міцність деталей. В цьому випадку вершини спірального гребеня після вдавлювання матеріалу деформують, щоб вони були сплюсненими.

8.3. Лазерна обробка

Сутність способу. В якості джерела теплоти при відновленні деталей використовують промінь лазера. Лазер – це оптичний квантовий генератор електромагнітного випромінювання.

Промінь лазера має ряд властивостей, що відрізняють його від звичайного світлового променя. Такими властивостями є спрямованість, монохроматичність і когерентність. За своєю спрямованістю лазерний промінь в тисячі разів перевищує, наприклад, прожекторний промінь. Це дозволяє концентрувати енергію на відносно невеликій ділянці. На відміну від звичайного білого променя, що несе набір різних частот електромагнітних коливань, лазерний промінь монохроматичний, тобто має строго певну довжину хвилі. Це дозволяє добре його фокусувати різними оптичними лінзами, так як кут заломлення променя в лінзі постійний. Когерентність – це узгоджене протікання в часі кількох хвильових процесів. Когерентні коливання викликають оптичний резонанс, який підсилює потужність випромінювання.

Обладнання і процеси. Лазери розрізняються:

- способом створення в середовищі інверсійної заселеності, або способом «накачування» (оптичним випромінюванням, електронним пучком, хімічною реакцією);
- лазерною речовиною (гази, рідини, тверді діелектрики);
- конструкцією резонатора (плоский, кільцевий та ін);
- режимом роботи (імпульсний, безперервний).

Лазери характеризуються потужністю, ККД, способом перетворення будь-якого виду енергії в енергію випромінювання, енергією в імпульсі та іншими параметрами.

В якості елемента зворотнього зв'язку в лазері використовують систему дзеркал, звану резонатором. Найпростіший і найбільш часто застосовуємий резонатор – це дві повернені одна до одної поверхні. Між ними знаходиться активна речовина, в якій виникає процес випромінювання.

Схема твердотільного лазера наведена на рис. 8.5.

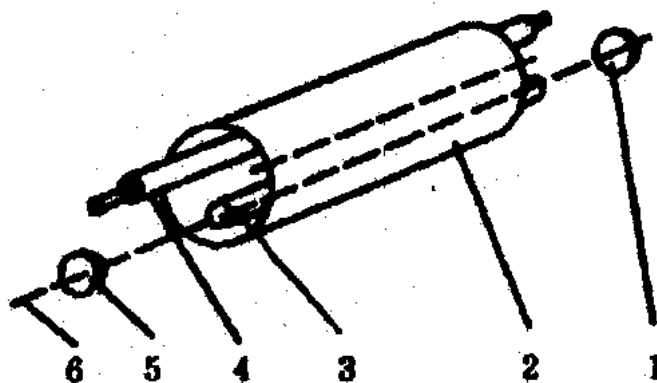


Рис. 8.5. Схема твердотільного лазера

В якості активного тіла 3 використовують стрижні з рубіна, алюмоітрієвого граната, скла, активованого іонами ніодима, ітербію, ербію, гольмію та інших елементів. Вони розміщуються в освітлювальній камері 2. Для збудження атомів активного світла застосовують лампу накачування 4, що створює потужні спалахи світла. На торцях активного тіла розміщені дзеркала – відбиваюче 1 і частково прозоре 5. Промінь лазера 6 проходить, багаторазово відбиваючись і посилюючись, всередині рубінового стрижня і виходить через дзеркало 5. ККД твердотільних лазерів складає 2-5%, їх характеристика приведена в табл. 8.3.

Таблиця 8.3 – Характеристика твердотільних лазерних установок

Установки	Енергія випромінювання, Дж	Тривалість імпульсу, мс	Частота імпульсів, Гц	Діаметр променя, мм	Споживана потужність, кВт	Маса, кг
Квант-9М	8	0,5	2	До 2	2,5	200
Квант-10	15	4	2	0,4; 1,4	6	350
Квант-12	3	1,5; 4	20	0,25; 1	6	600
Квант-16	30	4-7	0,1-1	2-5	–	350
Квант-17	8	4	10	2-5	12	550
Квант-18	10-130	8-10	1	2-5	5	400

Більш потужними є газові лазери, в яких як активне тіло використовують суміш газів, зазвичай $\text{CO}_2 + \text{He} + \text{N}_2$. Розбіжність променя в них становить 1–5 мрад. Схема газового лазера з поздовжнім прокачуванням газу приведена на рис. 8.6.

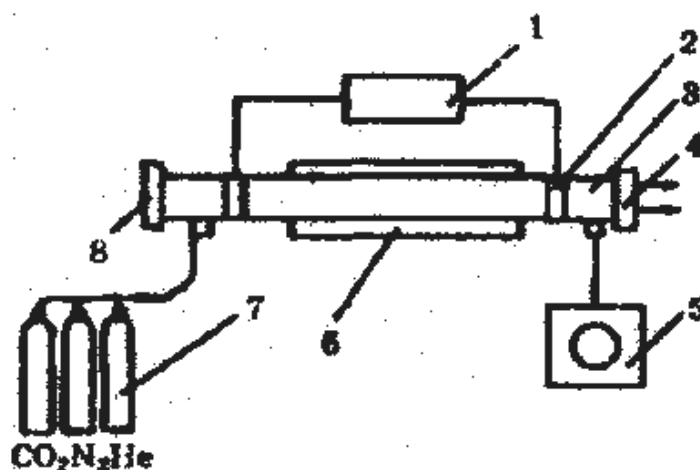


Рис. 8.6.

Схема газового лазера з поздовжнім прокачуванням газу

Газ з балонів 7 прокачується насосом 5 через газорозрядну трубку 3. Для енергетичного збудження газу використовують електричний розряд між електродами 2. Електроди підключені до джерела живлення 1. По торцям газорозрядної трубки розташовані дзеркала 4 і 8. Лазер охолоджується водяною системою 6. Недоліком лазера з поздовжнім прокачуванням газу є його великі габаритні розміри. Більш компактні лазери з поперечним прокачуванням. Їх

потужність досягає 20 кВт, що дає, наприклад, можливість зварювати метали товщиною до 20 мм зі швидкістю близько 60 м / год. Характеристика газових лазерних установок наведена в табл. 8.4.

Таблиця 8.4.- Характеристика газових лазерних установок

Установки	Потужність випромінювання, кВт	Діаметр променя, мм	Розходження випромінювання, мрад	Споживана потужність, кВт	ККД, %	Маса, кг
ЛГН-702	0,8	45	2	18	5	1100
Гарпун 5000	0,5-5	40	2	70	5-6	3000
Катунь	0,8	45	2	18	12	690
Іглан	2,5	96	2	60	4	3650
ЛГ1-2	До 5	45	5	80-100	5-7	5500
ЛГУ1-2	1,2	80	2	40-60	3-4	2650

Найбільш потужними є газодинамічні лазери. В них використовують гази, нагріті до температури 700–2700 °С. Газ витікає з надзвуковою швидкістю через сопло Лавалю, в результаті чого відбувається його адиабатичне розширення і охолодження в зоні резонатора. При охолодженні збуджених молекул CO₂ відбувається перехід їх на більш низький енергетичний рівень з випусканням когерентного випромінювання. Для накачування може бути використаний інший лазер або потужні джерела енергії. Газодинамічний лазер потужністю 100 кВт дозволяє зварювати сталь товщиною 35 мм зі швидкістю 200 м / год.

Переваги лазерної обробки:

- ◆ можливість дуже точного дозування енергії, що дозволяє отримати якісні з'єднання при виготовленні тонких деталей;
- ◆ потужні лазери дають можливість отримати велику глибину проплавлення при малій ширині шва, що дозволяє зменшити зону термічного впливу, скоротити зварювальні деформації і внутрішні напруження;
- ◆ легкість управління лазерним променем за допомогою дзеркал і волоконної оптики дозволяє зварювати стики, що не знаходяться в межах прямої видимості.

Лазери використовують в складі лазерних установок, технологічна частина яких служить для відносного переміщення променя і оброблюваної заготовки. При обробці нерухомих важких заготовок лазерний промінь переміщується за допомогою системи дзеркал, а для переміщення малогабаритних заготовок застосовують різноманітні пристосування.

Недоліком лазерної обробки є висока складність і вартість обладнання, а також його низький ККД, проте у міру розвитку лазерної техніки ці недоліки усуваються.

До процесів, в яких використовують енергію лазерного променя, відносять: зварювання; розрізування; плавлення і випаровування матеріалів; нанесення покриттів; локальну термічну обробку; легування; контроль якості виробів та ін.

Ефективність лазерної обробки визначається коефіцієнтом поглинання лазерного випромінювання поверхнею деталей. Поглинаюча здатність оброблюваної поверхні залежить від довжини хвилі випромінювання, властивостей і стану поверхонь заготовок, умов лазерного нагріву і складає 20–30%. Одним із шляхів підвищення коефіцієнта поглинання випромінювання є нанесення на поверхні заготовок поглинаючих покриттів. Значення цього коефіцієнта повинно складати 0,8–0,9 і при впливі випромінювання не впливати на структуру і властивості матеріалу заготовки. Найбільш часто застосовують оксидування та нанесення покриттів з вольфраму, оксиду міді або у вигляді фарб. В авторемонтному виробництві використовують покриття з сажі.

Сфокусованим лазерним променем можна нагрівати матеріали з надвисокими швидкостями (до 10^4 – 10^5 °C / с) в малих об'ємах. При цьому за рахунок тепловідведення в основу матеріалу забезпечуються і швидкості їх охолодження такого ж порядку. Це дає можливість фіксувати вкрай нерівноважні стани матеріалу, при яких не встигають відбутися фазові і структурні перетворення. Необхідний температурний режим нагрівання матеріалу визначається щільністю поглинання їх теплового потоку. При щільності потоку до 10^7 – 10^8 Вт/м² відбувається нагрів матеріалу без його плавлення або випаровування, при її підвищенні до 10^{10} – 10^{11} Вт/м² матеріал плавиться, а при більшій щільності теплового потоку спостерігається місцеве випаровування поверхневого шару матеріалу.

Види лазерної обробки. В залежності від щільності теплового потоку і тривалості впливів організують різні види технологічних процесів.

Схема лазерного зварювання газовим лазером наведена на рис. 8.7.

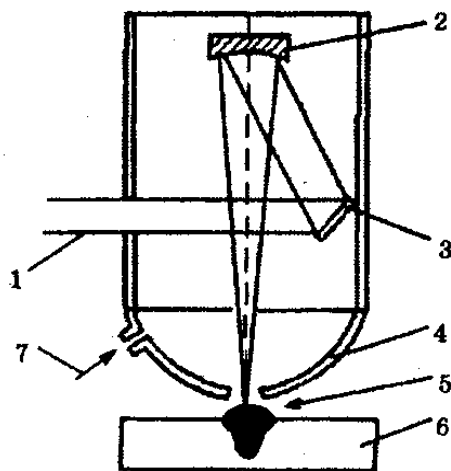


Рис.8.7 Схема лазерного зварювання:

1- промінь лазера; 2- фокусуюче дзеркало; 3-відбиваюче дзеркало; 4- сегментна перегородка; 5-плазмодригальмовувальний газ; 6-заготовка; 7-захисний газ.

Зварювання ведуть в атмосферних умовах без створення вакууму, тому необхідний захист розплавленого металу від повітря. Зазвичай для захисту використовують гази, зокрема аргон. Особливістю зварювання є те, що внаслідок високої теплової потужності променя на поверхні виробу, що зварюється, відбувається інтенсивне випаровування металу. Пари іонізуються, що призводить до розсіювання і екранування променя лазера. Тому в зону зварювання необхідно крім захисного газу, подавати також плазмопригальмовувальний газ. В якості останнього використовують гелій, який значно легший аргону і не розсіює промінь лазера. Застосовують також суміші 50% Ag і 50% He, які здувають іонізуючий газ.

Формування зварного з'єднання при лазерному зварюванні аналогічно електронно-променевому зварюванню. Промінь поступово заглиблюється в метал, відтісняючи рідкий метал зварювальної ванни на задню стінку кратера. Це дозволяє отримувати «кинджальне» проплавлення при великій глибині і малій ширині шва. Висока концентрація енергії в лазерному промені дає можливість досягати високих швидкостей зварювання, забезпечуючи одночасно сприятливий зварювальний цикл і високу міцність металу шва.

Лазерне загартування має ряд переваг в порівнянні з загартуванням інших видів:

- ◆ при загартуванні без оплавлення не змінюється шорсткість поверхні, тому таке загартування може бути фінішною операцією;
- ◆ має місце розігрів тільки тонкого поверхневого шару матеріалу, тому температура заготовки підвищується незначно, а температурні деформації тонкостінних і великих заготовок відсутні;
- ◆ значна економія енергії;
- ◆ можливість зміцнення заготовок складної форми;
- ◆ надвисокі швидкості нагріву і охолодження матеріалу при впливі концентрованого лазерного променя забезпечують твердість поверхневого шару до значень, не досяжних іншими способами термічної обробки.

Більш широка зміна фізико-механічних властивостей поверхневого шару матеріалу заготовки відбувається при *лазерному легуванні*, яке дозволяє отримувати шари з заданими властивостями. Його суть полягає в тому, що на поверхню заготовки наносять тонке покриття з легуючих елементів, а потім здійснюють спільне плавлення лазерним променем покриття і основи. Легуючі покриття наносять різними способами: напиленням, намазуванням емульсій, закріпленням фольги, електрохімічним осадженням, електроіскровою обробкою.

В результаті спільного плавлення матеріалу покриття з основою утворюється поверхневий шар нового хімічного складу. Однак труднощі з видаленням надлишкових фаз через швидке охолодження з високою швидкістю можуть призвести до виникнення великих залишкових напружень у шарі і появи в ньому тріщин. Товщина шару залежить від потужності променя і становить 0,1–1,5 мм.

Обробка дифузійних покриттів. Дифузійне насичення елементами, які утворюють у металах і сплавах високотверді хімічні сполуки (бориди, карбіди, нітриди), забезпечує отримання зносостійких шарів деталі. Однак вони мають малу товщину (до 100 мкм) і високу крихкість.

Широко застосовують *лазерне наплавлення*, зокрема газопорошкове, яке відрізняється подачею порошкового матеріалу з бункера за допомогою інжекторного пристрою безпосередньо в зону впливу лазерного променя. На розміри і форму наплавлених валиків впливають енергетичні параметри процесу, а також масова витрата порошку, відстань між живильником і заготовкою, кут нахилу осі живильника до лазерного променя.

Лазерне плакування - опалення попередньо нанесених покриттів. Спосіб полягає в плавленні попередньо нанесеного на поверхню заготовки матеріалу, який після швидкого охолодження утворює покриття.

На зарубіжних і вітчизняних підприємствах застосовують лазерне зміцнення ряду деталей автомобілів (табл. 8.5).

Таблиця 8.5.- Швидкозношувані деталі автомобіля, які проходять лазерне зміцнення

Найменування деталі	Матеріал	Глибина зміцнення, мм	Твердість, HRC	Потужність лазера, кВт
Гільза циліндра	Сірий чавун	0,25-0,35	60	5,0
Сідло і втулка клапана	Високохромистий чавун	0,25	60	0,4
Зубчасті колеса	Сталь	0,4-0,7	57-60	10,0
Кулачки розподільчого вала	Високоміцний чавун	1,25	60	6,0
Канавки поршнів	Сталь	0,20-0,35	60-64	0,5

9. Застосування синтетичних матеріалів при ремонті автомобілів

9.1 Види і властивості матеріалів

Різновиди синтетичних матеріалів. *Синтетичні матеріали* – це матеріали на основі полімерів, здатні під впливом підвищених температур і тиску приймати задану форму і зберігати її в звичайних умовах. *Полімери* складаються з великих молекул, кожна з яких представляє собою особливе з'єднання молекул-мономерів. Полімери в пластмасі зв'язують всі її компоненти: наповнювачі, пластифікатори, затверджувачі, барвники, каталізатори (прискорювачі) і ін.

Більшість полімерів отримують штучним шляхом в результаті реакцій синтезу полімеризації або поліконденсації. Схема реакції *полімеризації* – $nM \rightarrow Mn$ (побічні продукти не виділяються), а *поліконденсації* – $nM \rightarrow Mn + R$ (з виділенням низькомолекулярних побічних продуктів води, аміаку, спирту, хлориду водню та ін.) Полімерні матеріали мають аморфну і кристалічну складові структури (більше аморфну). Із збільшенням частки кристалічної складової покращується зносостійкість матеріалу, а із збільшенням частки аморфної складової – еластичність.

За ступенем оберненості станів в результаті нагрівання й охолодження синтетичні матеріали діляться на термореактивні і термопластичні. *Термопластичні* матеріали зберігають початкові властивості після розплавлення і затвердіння, а *термореактивні* при нагріванні незворотно руйнуються.

Промислове значення мають такі види пластмас: поліамідне, полістирольне і поліетиленове кришиво; дрібнодисперсні порошки з поліаміду, полівінілбутирально та поліетилену низького тиску; синтетичні (конструкційні) клеї; епоксидні композиції. В авторемонтному виробництві найбільше застосування отримали пластмаси на основі поліаміду, поліетилену і фторопласту; волокніт, матеріали виготовлені на основі епоксидних смол, синтетичні клеї і герметики.

Полікапроамід – представник поліамідних смол, який постачають у вигляді гранул. Матеріал є стійким до лугів, масел, ацетону, спирту, бензину та ін. Він застосовується для виготовлення підшипників і зубчастих коліс і для нанесення зносостійких та декоративних покриттів на металеві поверхні. При температурі нижче нуля стає жорстким.

Поліетилен – відносно твердий термопластичний полімер з температурою плавлення 120–130 °С. Він еластичний навіть при низькій температурі, застосовується для виготовлення труб і захисних покриттів, а також як ізоляційний і пакувальний матеріал.

Фторопласт (температура плавлення 327 °С) – продукт полімеризації етилену, в якому всі атоми водню заміщені фтором. За хімічною стійкістю перевершує всі відомі метали, в тому числі золото і платину. Низький коефіцієнт тертя та висока зносостійкість дозволяють тривало експлуатувати

його при температурі до 250 °С. Область застосування фторопласта обмежена практично нульовою адгезією до металів.

Волокніт являє собою прес-матеріал, що складається з фенол-формальдегідної смоли, волокнистого наповнювача (наприклад, бавовняної целюлози) і різних добавок. З нього виготовляють кришки і корпусні деталі. Скловолокніт в порівнянні з целюлозним волокнітом має більш високі механічні і електроізоляційні властивості. Його наповнювачем є скловолокно або склострічка. Застосовують для виготовлення деталей автомобілів з підвищеною міцністю і теплостійкістю, наприклад, шестерень розподільного вала.

Широке застосування в ремонті отримали полімерні композиції на основі *епоксидних смол*, які містять у своїх молекулах епоксидні групи що володіють високою реакційною здатністю. Сировиною для виробництва смол служать гази – продукти нафтопереробки. Найбільш часто застосовують смоли марок ЕД-16 та ЕД-20. Епоксидні смоли володіють високою адгезією до металів і добре поєднуються з іншими синтетичними смолами. При взаємодії з амінами і кислотами ці смоли твердіють і набувають значної теплостійкості і міцності. Епоксидні смоли до твердіння розчиняються в ацетоні, толуолі та інших розчинниках.

Епоксидні композиції включають, як правило, чотири види компонентів: епоксидну смолу, пластифікатор, наповнювач і затверджувач. Пластифікатори забезпечують зниження крихкості, підвищення ударної в'язкості і стійкості до температурних коливань. В якості пластифікаторів застосовують дібутилфталат (ДБФ), триетиленгліколь (ТЕГ-1), синтетичний (карбоксільований) каучук (СНК-10-10) і тіокол. Наповнювачі знижують вартість композиції, грають важливу роль у зближенні коефіцієнтів термічного розширення композиції і матеріалу покриття, в підвищенні механічної міцності, модуля пружності і теплостійкості шва, у зміні в'язкості і зменшенні усадки. Наприклад, чавунний порошок, закис заліза, тальк, кварцове і сльодяне борошно змінюють в необхідних межах значення коефіцієнта термічного розширення покриття, а графіт і дисульфід молібдену зменшують швидкість його зношування. Безпосередньо перед використанням, в композицію вводять затверджувач. В якості затверджувачів застосовують поліетиленполіамін (ПЕПА), амінофенол (АФ-2) і фторид бору (BF_3). Останній затверджувач переводить композицію в твердий стан навіть при мінусовій температурі. Недостача затверджувача подовжує процес затвердіння, а надлишок викликає крихкість матеріалу.

Особливості застосування. Застосування полімерних матеріалів в авторемонтному виробництві забезпечує зниження маси деталей, скорочує трудомісткість і витрати на ремонт виробів. При відновленні деталей використовують такі позитивні властивості пластмас:

- ◆ невелику щільність – пластмаси в середньому в два рази легші алюмінію і в 5–8 разів легші чорних металів;
- ◆ підвищену хімічну стійкість до дії агресивних середовищ (вологи, кислот, лугів), що в ряді випадків дозволяє відмовитися від застосування корозійно-стійких сталей і кольорових металів;

◆ високі антифрикційні і фрикційні властивості (малий або, навпаки, великий коефіцієнт тертя, хорошу зносостійкість і високу здатність до припрацьовування), тому вони застосовуються у вузлах тертя і фрикційних муфтах; хороші діелектричні властивості – пластмаси є основними електроізоляційними і конструкційними матеріалами в електропромисловості;

◆ шумопоглинаючі і звукоізолюючі властивості;

◆ вібростійкість – пластмаси мають здатність гасити динамічні коливання при знакозмінних навантаженнях, що сприяє підвищенню довговічності деталей і вузлів автомобілів.

Однак пластмаси порівняно з металами швидко старіють, мають малу теплопровідність і невелику міцність.

9.2. Виготовлення деталей і нанесення покриттів

Виготовлення деталей. Деталі з термопластичних матеріалів виготовляють литтям під тиском на ливарних машинах, а деталі з термореактивних матеріалів отримують пресуванням порошків у нагрітих прес-формах. Термореактивні порошки застосовують для виготовлення деталей, що не зазнають значних навантажень. В обох випадках матеріал нагрівають до плавлення або до розм'якшення. Якщо необхідно нанести відновне термопластичне покриття на елемент зношеної деталі, то цей елемент поміщають в прес-форму.

Нанесення покриттів. Тонкошарові покриття наносять у псевдозрідженому шарі газополумєневим напиленням з термопластичних сухих порошків з розмірами часток 0,10–0,35 мм із поліетилену, капролону, поліаміду, полінівілбутиралу та ін. Перевага нанесення порошків полягає в можливості відновлення металевих деталей складної форми.

Сутність нанесення покриття в псевдозрідженому шарі полягає в тому, що очищену, попередньо нагріту деталь, поміщають на певний час у камеру 4 (рис. 9.1), в якій знаходиться в завислому стані порошок пластмаси. При контакті з нагрітою деталлю порошок оплавляється і утворює тонкошарове покриття. Азот або стиснене повітря з балона 1 через редуктор 2 надходить у нижню частину камери 4, яка розділена на дві частини пористою перегородкою 3. Газ, проходячи через перегородку, утворює завісу, обсяг якої в порівнянні з обсягом порошку, що знаходиться в спокійному стані, зростає більш ніж в два рази.

Початковий шар порошку в спокійному стані повинен бути не менше 80–100 мм. При товщині войлочної перегородки 40 мм тиск газу має бути близько 0,40 МПа. Добре очищений від оливи і вологи азот застосовують при використанні порошків поліаміду та інших пластмас, схильних до окислення.

Товщина покриття залежить від температури нагріву заготовки, часу витримки її в робочій зоні, температури плавлення порошку і його теплопровідності.

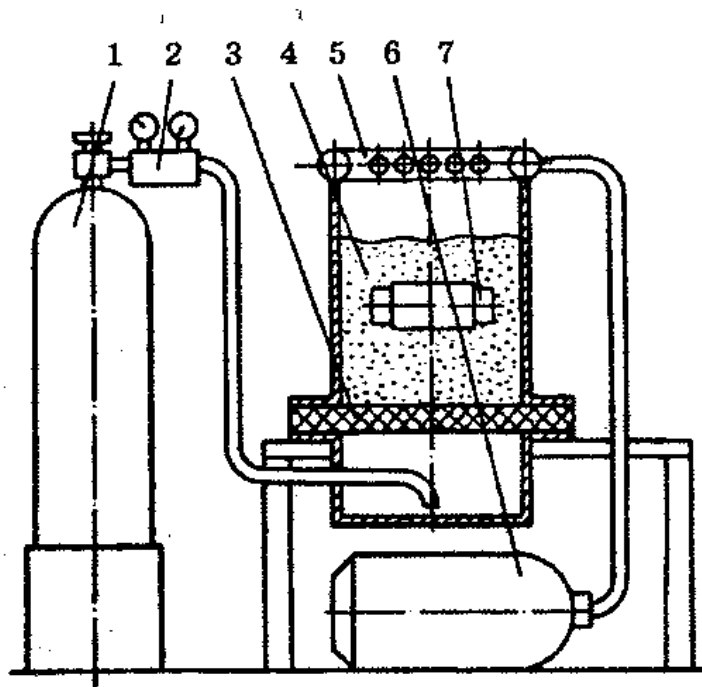


Рис 9.1 Схема пристрою для нанесення полімерного покриття в псевдозрідженому шарі: 1- балон зі стисненим повітрям або азотом; 2 - редуктор; 3 - пориста перегородка; 4 - камера; 5 - витяжний пристрій; 6 - пилосмок; 7 - заготовка

Процес газополуменевого напилення порошкових пластмас полягає в наступному. Струмін стислого повітря із зваженими частинками порошку проходить через газокисневе полум'я. Частинки порошку оплавляються, захоплюються струменем стисненого повітря, потрапляють на поверхню деталі, підігрітої до температури, близької до температури плавлення матеріалу, і міцно з'єднуються з поверхнею виробу.

Способом газополуменевого напилення можна наносити покриття на деталі із сталі, чавуну і кольорових металів, що вимагають захисту від вологи або хімічно активного середовища. Поверхня, що підлягає газополуменому напилюванню, повинна бути ретельно очищеною і шорсткою.

Освоєний процес газополуменевого напилення поліетилену, поліаміду і бітумів. Для нанесення покриттів з полівінілхлориду в нього додають таку ж частку пластифікатора (трикрезолфталата). Напилювана поверхня перед нанесенням покриття покривається клеєм (розчином перхлорвінілової смоли в полівінілацетаті), який забезпечує підвищення міцності покриття. При нанесенні композиції не потрібно попередньо підігрівати поверхню виробу. Це дає можливість використовувати покриття для захисту не тільки металевих поверхонь, а й з інших матеріалів.

При ремонті кузовних панелей для шпатлювання поверхонь перед нанесенням лакофарбових покриттів застосовують термопластичні порошки ПФН-12 або ТПФ-37. Термопласт ПФН-12 включає полівінілбутиралеву смолу (54 %), графіт (23 %), ідітол (21 %) і уротропін (2 %). Температура

плавлення матеріалу складає 210–220 °С, міцність його при розтягуванні – 40 МПа, вміст летучих речовин не більше 3,5%.

Покриття наносять за допомогою установок УПН-4Л, УПН-6-63 та ін. При цьому на напилюваній поверхні створюють шорсткість для збільшення площі з'єднання металу з пластмасою. Після механічного очищення поверхню знежирюють ацетоном або уайт-спіритом і нагрівають до температури 210–260 °С. Порошок подають в струмені нагрітого стисненого повітря під тиском 0,4–0,6 МПа. Він розплавляється під дією теплоти попередньо нагрітого металу і полум'я газокисневого пальника та утворює м'яку масу, яку ретельно укочують металевим катком, попередньо охолодженим в воді.

Різновидом процесу є теплопроменевий спосіб, який заснований на тому, що в потік світотеплових променів додають струмінь порошкового полімеру, частинки якого плавляться і з великою швидкістю наносяться на відновлювану поверхню, утворюючи покриття (рис. 9.2). В якості нагрівача застосовують кварцеві лампи 4 з параболічними випромінювачами НІК–200. Повітряно-порошкову суспензію подають живильником 2 вібровихорового типу з насадкою для розпилення. Суміш надходить по шлангу до щілинного розпилювача 3. При цьому витрата матеріалу скорочується на 25 – 30%, енергії в 3,5–4,0 рази, а фізико-механічні властивості покриття підвищуються.

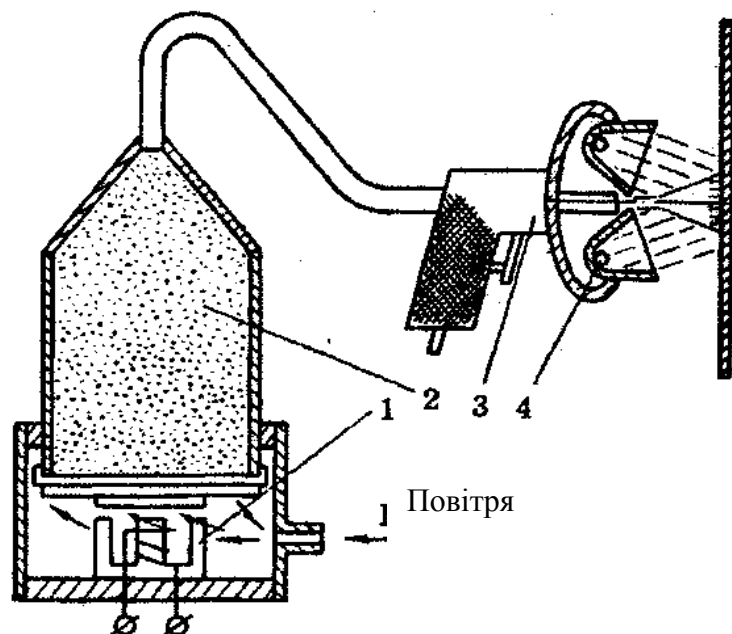


Рис. 9.2 Схема установки для теплопроменевого нанесення полімерних покриттів

Спосіб застосовують для нанесення декоративних покриттів на деталі внутрішнього інтер'єру пасажирських транспортних засобів. Покриття наносять на обертові деталі, після чого вони сушаться за допомогою освітлювальних ламп з дзеркальними відбивачами протягом 50–60 хв.

Застосовують струменево-електрофоретичний спосіб нанесення порошкових полімерних покриттів. Сутність його полягає в тому, що заряджені

частинки порошку під дією сил електричного поля переміщуються до протилежно зарядженого виробу і осідають на поверхні рівним шаром.

Зношені отвори в корпусних деталях під підшипники відновлюють нанесенням епоксидної композиції на відновлювану поверхню з подальшою установкою полірованих оправок номінального діаметра, змащених тонким шаром масла. Оправки встановлюють в корпусі пристосування, що забезпечує номінальну відстань без перекосу між осями відновлюваних отворів. Після затвердіння композиції оправки знімають. Відновлені отвори мають нормативні розташування, форму, розміри і шорсткість поверхонь.

9.3. Закріплення додаткових ремонтних деталей і закладення тріщин

Приготування композицій. Операції виконують з використанням епоксидної композиції, процес приготування якої наступний. Смолу розігрівають при температурі 60–70 °С до рідкого стану і в неї вводять необхідну кількість пластифікатора (табл. 9.1), Після ретельного перемішування речовин вводять наповнювач і безпосередньо перед використанням – затверджувач. Протягом 25–30 хв композиція повинна бути використана. Епоксидні композиції відносяться до термореактивних пластмас, які при затвердінні переходять в неплавкі і нерозчинні речовини. Токсична композиція під час приготування стає нешкідливою після повного затвердіння.

Таблиця 9.1.-Склади композицій на основі епоксидних смол

№	Кількість компонентів, масова частка					Властивості
	Епоксидна смола		ДБФ	ПЕПА	Наповнювач	
	ЕД-16	ЕД-20				
1	100	–	15-20	10-11	–	Малов'язка композиція
2	–	100	10-15	12-13	–	Малов'язка композиція
3	100	–	15-20	10-11	Мелена слюда, 40	Високов'язка композиція, що не збігає з похилих поверхонь
4	100	–	20	10-11	Мелена слюда, 40; алюмінієва пудра, 5; біла сажа, 35	Високов'язка композиція, що не збігає з похилих поверхонь
5	100	–	15	10-11	Графіт, 40-50	Добра теплопровідність, низький коефіцієнт тертя, високий модуль пружності
6	100	–	15-20	10-11	Залізний порошок, 120; графіт 20	
7	–	100	10	12-13	Стальний порошок, 120; графіт 20	
8	100	–	15-20	10-11	Залізний (чавунний) порошок, 150	Високий модуль пружності
9	100	–	45	9	–	Висока адгезійна і когезійна міцність

Області застосування епоксидних композицій наступні. Склади 3, 4 і 8 застосовують для закріплення ДРД, закладення тріщин на стінках корпусних деталей, закладення тріщин на стінках ємнісних деталей (баків, радіаторів) і герметизації місць зварювання або пайки. Внутрішні поверхні тертя втулок і вкладнів відновлюють складами 5, 6 і 7. Зношені шийки валів або опори підшипників в корпусних деталях відновлюють складами 6, 7 і 8. Втулки і різьбові вставки закріплюють складами 1, 2, 3 і 9. Тріщини і пробоїни в акумуляторних батареях і електроізолювальних деталях закладають складом 3.

Порядок усунення пробоїв наступний. Виготовляють металеву накладку товщиною 0,5–0,8 мм з розрахунку щоб вона перекривала межу пробоїни на 15–20 мм із всіх сторін. Вирізають також клапоть склотканини, розміри якої відповідають розміру накладки. Зачищають поверхню накладки і відновлюваної деталі так, щоб межа зачищених поверхонь деталі виходила за контур накладки. На зачищеній поверхні деталі роблять насічки зубилом. Поверхні що дотикаються знежирюють і на них наносять композицію. На мазеподібну пластмасу, яка покриває поверхні з тріщиною, накладають склотканину, яку закривають накладкою із сталі з нанесеним компаундом. Накладку накочують роликком і залишають з'єднання до затвердіння складу.

9.4 Клейові композиції

Види клеїв. Клеї в своїй більшості являють розчини синтетичних смол в розчинниках (в тому числі в спиртах). Клеї застосовують для склеювання металів як між собою, так і з іншими матеріалами. Клейовий шар являється ізолюючою прокладкою, тому склеювання металів з різноманітними електродними потенціалами не викликає виникнення контактної корозії.

З'єднання поверхонь при склеюванні забезпечується головним чином силами притягування однієї до іншої полярних молекул, які прагнуть зайняти таке положення, щоб позитивні і негативні заряди їх були нейтралізовані. При цій умові потенційна енергія на поверхні дотику матеріалів мінімальна і всяка зміна цього положення потребує докладання значних зусиль. Для більшості синтетичних клейових матеріалів найбільш розповсюджений ковалентний зв'язок.

Міцність клейового з'єднання залежить від товщини його шару: міцність тим вища, чим тонша плівка клею. Таке підвищення міцності склеювання пояснюється орієнтуючим впливом твердої поверхні на формування клейових волокон. Для більшості клеїв оптимальна товщина плівки складає 0,05–0,25 мм.

При ремонті автомобілів для склеювання металів, неметалів та їх поєднань широко застосовують такі клеї:

- ◆ фенольно-полівінілацетальні БФ–2, БФ–4, а також ВС–10Т і ВС –350 з кремнієорганічними та іншими добавками;
- ◆ фенольно-каучукові ВК–3, ВК–4, ВК–13, ВК–32–200;
- ◆ кремнієорганічні ВК–2, ВК–8, ВК–10, ВК–15, К-300;
- ◆ епоксидні ВК–32ЕМ, ВК–1, ВК–1МС, ВК–9, К–153, епоксиди П і Пр, КЛН-1;
- ◆ поліуретанові ПУ–2, ВК–5;
- ◆ метилполіамідно-фенольний МПФ-1;

- ◆ фенольно-формальдегідні ВІАМ–БЗ;
- ◆ на основі наїритового каучуку і фенольної смоли 88НП.

Клеї випускають у вигляді готових сумішей або у вигляді компонентів, що змішуються перед використанням.

Застосування композицій. Склеювання тканин і приклеювання різних матеріалів до металів здійснюють клеями ВК–32–200, 88НП. Гуму до металів приклеюють клеями 88НП. Решту клеїв застосовують для склеювання металів між собою і з неметалами.

Процес склеювання деталей включає такі операції: підготовку склеюваних поверхонь, нанесення клею в 2–3 шари з сушінням кожного з шарів, з'єднання склеюваних поверхонь, витримку під тиском, витримку поза пресом, обробку шва, перевірку якості.

Підготовка поверхонь, що склеюються полягає в підгонці їх одна до одної, очищення, надання необхідної шорсткості і знежирюванні. Щільна підгонка поверхонь необхідна для молекулярної взаємодії клею зі склеюваними поверхнями при оптимальній товщині клейової плівки. Забруднення ретельно видаляють з поверхні органічними розчинниками. Збільшення фактичної площі склеювання досягають механічною обробкою (різанням лезовим інструментом або абразивною шкіркою, дробоструминною обробкою) або труїнням у водних розчинах кислот та їх солей.

Якість клейового шва в значній мірі залежить від умов нанесення клею. Початковий стан клеїв різноманітний: рідкий, пастоподібний, твердий, у вигляді плівки, порошку, прутка, а тому і способи їх нанесення на склеювані поверхні різні.

Якість склеювання вибірково контролюють шляхом вимірювання механічних характеристик шва.

9.5 Герметизація стиків і стінок

Суть процесу. *Герметизація* стиків деталей або їх стінок – це забезпечення їх непроникності. При відновленні деталей частіше застосовують герметизуючі (розділювальні) матеріали, якими заповнюють зазори в контакті деталей або пори в їх стінках. Розділювальні матеріали виключають контакт несумісних середовищ – герметизуючого і навколишнього.

Стик ущільнення повинен являти собою неоднорідне тіло з градієнтом деформаційно-міцнісних характеристик. Найпростіша модель такого стику (рис. 9.3) являє собою тришаровий елемент, що володіє властивостями рідини, в'язко-пружного середовища і твердого тіла.

Товщина шару рідини h , що забезпечує герметичність, становить 0,1 – 60 мкм в залежності від шорсткості сполученої деталі. Стінки деталей з наскрізними тріщинами і порами просочують герметизуючими складами.

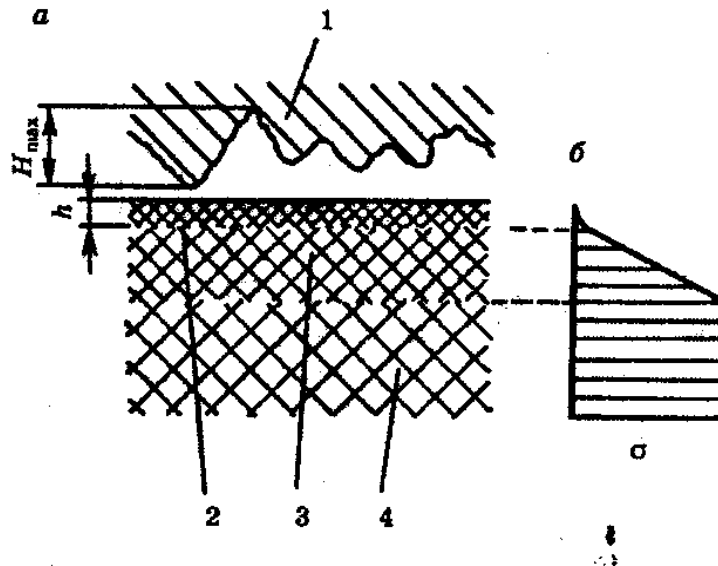


Рис.9.3. Модель тришарового герметизуючого елемента:
 а – схема стику; б – еюра розподілу тиску σ в стику, 1 – спряжувана деталь,
 2, 3 і 4 – ділянки герметизатора, що володіють відповідно, властивостями рідини,
 в'язкопружного середовища і твердого тіла; H_{\max} - найбільша висота мікронерівностей

Найбільшою мірою вимогам, що висувуються до герметизуючих матеріалів, відповідають полімерні герметики. Застосовують хімічно стійкі полімери, непроникні для багатьох середовищ. По ряду показників (міцності, пружності, в'язкості) вони займають проміжне місце між рідиною і твердим тілом.

Герметики – пастоподібні або в'язкотекучі маси на основі полімерів і олігомерів, в тому числі затвердіваючі, що утворюють в зазорі шари, які перешкоджають витоку герметизуючих середовищ. Герметики бувають термореактивними і термопластичними.

Термореактивні герметики незворотно переходять з вихідного текучого стану в експлуатаційний еластичний внаслідок утворення хімічних зв'язків. До них відносяться: вулканізуючі матеріали на основі каучуків; матеріали на основі олігомерів з реакційними групами OH, COOH, SH, NCO та ін; анаеробні герметики на основі смол акрилового або метакрилового ряду, що полімеризуються при відсутності кисню в зазорах з'єднань або порах стінок.

Термопластичні герметики зворотно переходять із вихідного в'язкотекучого в пластичний або високоеластичний стан. Вони поділяються на ті, що не висихають, і що висихають.

Невисихаючі герметики отримують з високо-і низькомолекулярних каучуків (поліізобутиленового, бутилового, етиленпропіленового та ін.), повністю насичених або з малою кількістю подвійних зв'язків у молекулах. Ущільнювальні матеріали мають протишумні та антикорозійні властивості.

Невисихаючий герметик УН-01 випускають на основі поліізобутиленового каучуку, а герметики 14НГ-1 і 14НГ-2 – на основі етиленпропіленового каучуку. Матеріал У-20А застосовують для герметизації різьб, клепаних з'єднань, гуми зі склом, з'єднань типу «водяний патрубок – впускна труба» і «корпус водяного насоса – кришка». Матеріал УН-25 підвищує маслостійкість прокладок.

Для ущільнення стиків у вузлах автомобілів служить новий вид герметизуючого матеріалу – рідкі ущільнювальні прокладки. Застосування його підви-

щує надійність з'єднань при одночасному зниженні витрат традиційних прокладкових матеріалів. Він складається з в'язкої маси або пасти на основі полімерів (поліетилену, поліізобутилену, полівінілхлориду, полівінілбутіраля, силіконових або бутадієн-акрилонітрильних каучуків), що містять необхідні добавки. Прокладки мають високу стійкість до вібрацій і ударів, вони можуть застосовуватися в широких діапазонах температури і тиску, не викликаючи корозії в процесі експлуатації.

Прокладки ГПК не прикипають до ущільнюваних з'єднань, а після розбирання вузлів легко видаляються з поверхні роз'єму. Питома витрата матеріалу складає 200–400 г / м². Рідкі прокладки в порівнянні з жорсткими прокладками вільно змінюють свою форму і легко заповнюють всі мікродефекти ущільнювальних поверхонь, тим самим забезпечують повну герметизацію стику. Це зменшує вимоги до припасування сполучених поверхонь, знижує знос з'єднань і трудомісткість їх відновлення.

Рідка ущільнююча прокладка ГПК–242 призначена для герметизації нерухомих з'єднань стиків деталей, що працюють у водному, пароводяному та повітряному середовищах. Рідка ущільнююча прокладка ГПК–244 застосовується для герметизації нерухомих з'єднань деталей і вузлів, що працюють в повітряному, водному, пароводяному, лужному, кислотному та маслобензиновому середовищах. Прокладка ГПК–244А служить для герметизації фланцевих з'єднань під тиском до 0,6 МПа і штуцерних з'єднань під тиском до 4 МПа. Прокладка ГПК 244Б ущільнює з'єднання під тиском 8–15 МПа, при цьому робочі поверхні можуть мати корозійний знос і невиправні зазори більше 0,2 мм.

Рідкі прокладки спочатку розігрівають до температури 80 °С, а потім їх наносять тонким шаром на одну з поверхонь, що з'єднуються за допомогою шпателя. Склади наносять шаром товщиною до 0,5 мм.

Рідка прокладка ВАТТ–3 (промислова марка КЛТ–75), розроблена на основі самовулканізуючого низькомолекулярного силоксанового каучуку, твердне протягом 10 хв. Агрегат, в якому герметизоване з'єднання за допомогою цього матеріалу, допускається до роботи через 20–30 хвилин після його нанесення. Роботоздатність прокладки зберігається протягом трьох років, а час зберігання матеріалу становить п'ять років. Вона надійно замінює картонні, паронітові та гумові прокладки, а в окремих випадках – азбестові, коркові і фіброві матеріали. Рідка прокладка ВАТТ–3 дозволяє відновлювати пошкоджені металоазбестові прокладки, шланги та ізоляцію електричних проводів.

Висихаючі герметики в початковому стані є розчинами еластомерів в органічних розчинниках. Після випаровування останніх вони переходять в еластичний стан, який зберігається при експлуатації. Висихаючі герметики готують на основі високомолекулярних синтетичних каучуків (бутадієн-стірольних, бутадієн-нітрильних, поліхлоропренових і ін.), що вулканізуються, а також термоеластомерів у поєднанні із смолами.

За ознакою затвердіння розрізняють герметики, що вулканізуються, полімеризуються і нетверднучі.

До тих, що вулканізуються відносять герметики на основі тіоколів, силоксанових і фторвмісних каучуків.

Посадку гільз в блоці циліндрів ущільнюють силіконовим герметиком КЛТ–30Б. Застосування еластомера ГЕН–150 перспективне для відновлення натягу і герметизації з'єднань. Еластосил 137-83 вулканізується при контакті з вологим повітрям з утворенням гумоподібного матеріалу (проміжок робочих температур від -60 до +30 °С). Матеріал застосовують для нерухомих з'єднань, що працюють у водяному, повітряному і масляному середовищах.

Герметики, *що полімеризуються*, – група анаеробних матеріалів. Це багатоконпонентні рідкі речовини, які при зберіганні на повітрі довго зберігають початковий в'язкотекучий стан, але швидко тверднуть при температурі 15–20 °С у зазорах приблизно 0,1 мм. Нетверднучі герметики легко проникають в зазори, а після полімеризації в них роблять з'єднання герметичними і міцними. Основу анаеробних герметиків зазвичай складають з'єднання акрилового ряду, що полімеризуються. Відсутність кисню ініціює перетворення цих з'єднань на просторово зшиті полімери.

У Росії випускають дві групи анаеробних герметиків: акрилові – Анатерм і склади підвищеної термічної і хімічної стійкості – Унігерм. Діапазон їх робочих температур від -60 до +200 °С. Вони стійкі у воді, нафтових оливах, органічних розчинниках, ряді кислот і лугів.

Нетверднучі герметики – це термопластичні пасти і мастики, що переходять при нагріванні у в'язкотекучий стан, є високонаповнені (50–75 %) гумові суміші на основі поліізобутилену, бутилкаучуку, етиленпропіленового каучуку і їх поєднань з поліетиленом або поліпропіленом.

Замазки – це герметики високої в'язкості в початковому стані. Верхня межа робочої температури ~ 70⁰С. При її перевищенні герметик розм'якшується, а потім твердне, практично позбавляючись еластичності.

Мастики – високов'язкі герметики, що мають після твердіння помірну в'язкість і невелику еластичність. Обмежено застосовуються мастики на основі термопластичних матеріалів (бітумів, каніфолі, церезину і ін.), що є твердою масою, яку перед застосуванням переводять в рідкий стан шляхом нагріву.

Компаунди мають після затвердіння високі діелектричні параметри і зазвичай низьку еластичність. Вони містять як основу епоксидні і ненасичені поліефірні смоли, кремнійорганічні каустики або початкові продукти синтезу поліметакрилатів і поліуретанів. До складу компаундів входять пластифікатори, наповнювачі, затверджувачі, ініціатори полімеризації і пігменти.

Для ущільнення стиків, різьби і просочення стінок з тріщинами застосовують імпорتنі матеріали – Локтайт серії 500. Локтайт 510 служить для ущільнення плоских поверхонь, Локтайт 542 – для ущільнення з'єднань гідравлічних трубопроводів, Локтайт 573 – це універсальний матеріал для ущільнення різних поверхонь, а Локтайт 577 застосовують для ущільнення трубних різьб. Герметики випускають у вигляді компаундів, замазок і мастик.

10. Проектування технологічних процесів відновлення деталей

10.1. Розробка і оптимізація технологічного процесу

Початкові дані і послідовність проектування технологічного процесу.

Початкові дані для розробки технологічного процесу (ТП) відновлення деталі включають: об'єми випуску продукції; ремонтне креслення деталі; ТП виготовлення деталі на заводі-виробнику; дані про дефекти деталей і їх частоту.

При розробці ТП використовують інформацію, яка залежно від обов'язковості застосування і змісту ділиться на базову, керівну і довідкову.

Базова інформація включає відомості про види і про об'єм випуску продукції, технічні умови, ремонтні креслення, дані про устаткування і оснащення.

Керівна інформація – це державні і галузеві стандарти, стандарти підприємства, керівництва по капітальному ремонту окремих автомобілів або їх агрегатів, класифікатори, нормативи і норми, технологічні і організаційні інструкції, документація по охороні праці і навколишнього середовища.

Довідкова інформація – це звіти про науково-дослідні роботи, технологічна документація дослідницького виробництва, довідники, каталоги устаткування, пристосувань і інструменту, планування ділянок, різні методичні матеріали.

Проектування ТП включає:

- ◆ аналіз вихідних даних;
- ◆ вибір аналогу процесу з числа тих, що діють і його аналіз;
- ◆ вибір технологічних баз;
- ◆ складання технологічного маршруту відновлення деталі;
- ◆ розробку технологічних операцій;
- ◆ нормування ТП;
- ◆ визначення вимог охорони праці і навколишнього середовища;
- ◆ розрахунок економічної ефективності ТП;
- ◆ оформлення ТП.

Структура технологічного процесу і методи його проектування.

Структура ТП має три складові: тимчасову, функціональну і просторову.

Тимчасова складова визначає склад і послідовність елементів ТП.

Функціональна – порядок перетворення виробу з одного стану в інший.

Просторова – розмірні і точнісні зв'язки між базовими і оброблюваними поверхнями.

Для оцінки прийнятих рішень використовують локальні і глобальні критерії. Перші критерії оцінюють витрату виробничих ресурсів (матеріальних, енергетичних і трудових), синхронність операцій по штучному часу, кратність стійкості ріжучого інструменту, довжину транспортних переміщень, використання уніфікованих виробів та ін. Другі критерії – собівартість або час відновлення (ремонт) виробів.

Є два основні методи проектування ТП: запозичення і синтезу. Метод *запозичення* заснований на використанні процесів і їх елементів, наявних в завод-

ських архівах. Хоча отриманий процес заснований на перевірених рішеннях, проте нові рішення в ньому відсутні. Метод *синтезу* заснований на складанні ТП з використанням нових елементів процесу і їх зв'язків із застосуванням логічних правил і аналітичних залежностей. Синтез припускає як використання аналогів, так і можливість обходитися без них. При використанні аналогів в ТП включають нові елементи або істотно змінюють послідовність операцій. За допомогою синтезу отримують нові технічні рішення.

Оптимізація технологічного процесу. Під оптимізацією розуміють пошук як найкращого технічного рішення шляхом синтезу з позицій прийнятих критеріїв і з урахуванням обмежень.

Оптимізація ТП полягає в наступному: з числа можливих типів і видів технологічних операцій, уворюючих процес, знаходять таку їх послідовність, яка забезпечує встановлені обмеження по продуктивності і якості з найменшими витратами.

При виборі варіанту ТП одночасно ведуть пошук як нових, так і якнайкращих технічних рішень. Операції процесу відновлення (ремонт) виробу вибирають з графа (рис. 10.1), складеного з вершин і дуг.

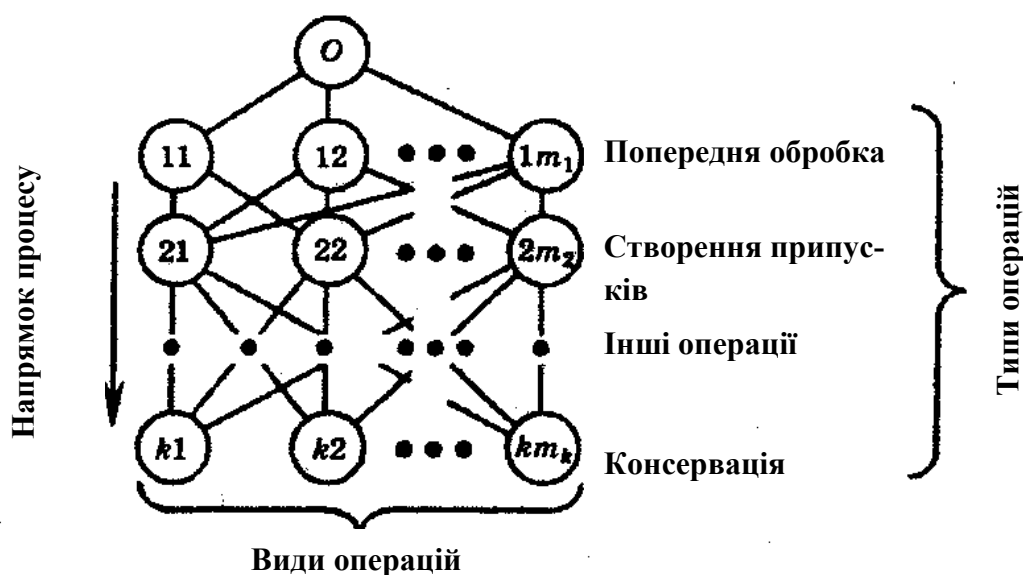


Рис. 10.1. Граф варіантів технологічного процесу відновлення деталі:
 $1, 2, \dots, k$ – типи операцій;
 m_1, m_2, \dots, m_k – кількість видів операцій кожного типу

Кожен горизонтальний ряд вершин графа – це i -та підмножина однотипних технологічних операцій ($i = 1, \dots, k$). Операція першого типу представлена m_1 її видами, операція другого типу – m_2 її видами і т. д., а операція k -го типу (нижній рядок графа) – m_k її видами. Так, наприклад, операція типу «нанесення покриття» при відновленні деталі може бути представлена такими видами: наплавлення, напилення, хімічне або електрохімічне нанесення і ін. Види технологічних операцій вибираються з підручників і довідників, а також з логічних і евристичних уявлень про різні способи перетворення енергії і матерії, використання нових матеріалів і різних фізичних ефектів і їх різних поєднань.

У граф включають лише ті операції, які забезпечують обмеження за якістю і продуктивністю.

Число рядів вершин в загальному вигляді дорівнює числу технологічних операцій, які складають ТП. Проте слідує одна за одною операції можуть бути несумісні або виключати одна одну. Наприклад, нанесення покриттів з високою твердістю виключає поверхневе загартування.

Кожна операція що входить до ТП необхідна, а всіх разом їх вистачить для приведення відновлюваного (ремонтваного) виробу в стан, який визначений конструкторською документацією.

Довжину кожної дуги графа визначають як витрати на підготовку і виконання подальшої операції, що відносяться до одного виробу.

Таким чином, велика кількість вершин графа, побудованого по правилах «морфологічного» аналізу, відповідає великій кількості операцій що утворюють його, а велика кількість дуг – витратам на підготовку і виконання подальших операцій.

Зв'язана підмножина вершин, узятих по одній з кожного ряду графа, визначає один варіант технологічного процесу. Безліч варіантів процесу дорівнює множенню $m_1 \cdot m_2 \cdot \dots \cdot m_k$. Несумісність деяких операцій між собою скорочує кількість варіантів процесу.

Оптимізація процесу виражається в пошуку найкоротшого шляху з вершини O в одну з вершин нижнього ярусу графа, а підмножина вершин на цьому шляху відповідно визначає оптимальний склад операцій технологічного процесу.

Найкоротший шлях L_{i+1} між вказаними вершинами знаходять за допомогою принципу оптимальності Р.Беллмана, використовуючи властивість аддитивності цільової функції по складових частинах процесу. Розв'язують рекурентне рівняння в кожній вершині графа:

$$L_{i+1} = \min (\text{по всім вершинам графа}) [l_{(i+1)-1} + l_i],$$

де i – технологічні операції;

l_i – витрати на виконання i операцій за умови, що відповідна ділянка графа вибрана оптимальним чином;

l_{i+1} – витрати, віднесені до $i + 1$ операцій;

$l_{(i+1)-1}$ – витрати, віднесені до приєднання $(i+1)$ -ї операції процесу до i -ї операції.

Принцип оптимальності полягає в тому, що який би не був стан системи в результаті визначеного числа кроків, подальше управління на найближчому кроці вибирається так, щоб воно в сукупності з оптимальним управлінням на всіх подальших кроках приводило до максимального виграшу на всіх кроках, що залишилися, включаючи даний.

Вибрані на графі напрямки руху з його вершин позначають стрілками. Ці зв'язки обумовлюють оптимальні поєднання операцій на попередніх кроках з операцією на подальшому кроці. Розрахунки при цьому ведуться від вершин нижнього їх ряду до вершини O . У вершині графа вписують значення L_{i+1} .

Рухаючись в знайдених напрямках з вершини O графа через одну з вершин кожного ярусу графа, знаходять поєднання операцій, яке при інших рівних умовах забезпечить найменші витрати на виконання технологічного процесу. Відповідне значення цільової функції читають у верхній вершині графа.

10.2. Приклад вибору і оптимізації технологічного процесу

Розглянемо процес відновлення гільзи циліндра автомобільного двигуна ЗМЗ-53. Матеріал деталі – СЧ18 або зносостійкий чавун ІЧГ-33М. Пошкодження, що усуваються, знос дзеркала циліндра і зовнішньої циліндричної поверхні пояска. Вимоги до відновлення: твердість поверхні 170–240 НВ, допуски на діаметр циліндра $+0,06$ мм і діаметр пояска $-0,02$ мм, нециліндричність поверхні дзеркала циліндра $0,008$ мм, биття поверхні пояска щодо поверхні циліндра $0,08$ мм. Морфологічна матриця і відповідний граф варіантів ТП з витратами на підготовку і виконання операцій приведені в табл. 10.1 і на рис. 10.2.

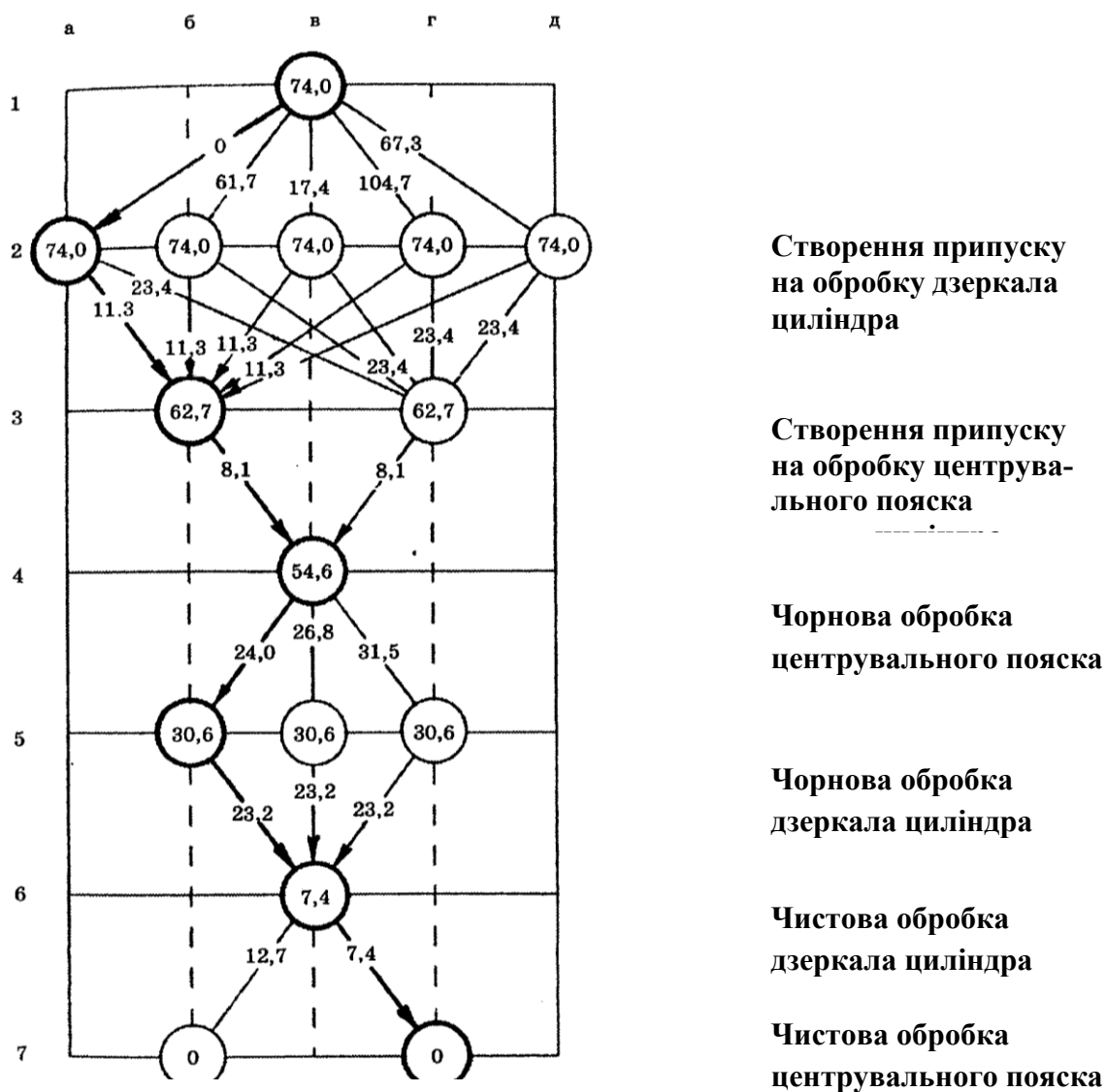


Рис 10.2. Граф варіантів технологічного процесу відновлення гільзи циліндра

Таблиця 10.1 Морфологічна матриця складових операцій технологічного процесу відновлення гільзи циліндра

Тип	Операції	Кординати вершин	Затрати, грн
	Вид		
Створення припуску на обробку дзеркала циліндру	Використання поршневого зношеного шару	2а	0
	Встановлення листової ДРД	2б	61,7
	Термопластичне обтиснення	2в	17,4
	Індукційне наплавлення	2г	104,7
	Залізнення	2д	67,63
Створення припуску на обробку центрувального пояса	Електродугове наплавлення	3б	11,3
	Залізнення	3г	23,4
Чорнова обробка центрувального пояса	Точіння	4в	8,1
Чорнова обробка дзеркала циліндру	Розточування	5б	24
	Хонігування	5в	26,8
	Шліфування	5г	31,5
Чистова обробка дзеркала циліндру	Хонігування	6в	23,2
Чистова обробка центрувального поясу	Шліфування	7б	12,7
	Точіння різцями із надтвердих матеріалів	7г	7,4

Значення довжин дуг графа приведені в їхніх розривах. По суті – це значення витрат $l_{(i+1)-1}$, які входять складовою частиною в рекурентне рівняння (10.1).

Розрахунки починають з визначення мінімального значення функції L_{i+1} у вершинах передостаннього 6-го ярусу графа, тому що значення витрат l_i , нижче за 7-й ярус графа, формально рівні нулю.

Порівняння між собою довжин дуг $6в-7б$ і $6в-7г$ дає підставу вибрати напрям руху вздовж другої дуги і орієнтувати її стрілкою у вершину $7г$, а у вершину $6в$ вписати мінімальне значення функції 7,4 грн.

Розглянемо вершини 5-го ярусу. Варіантів руху з них немає, оскільки з кожної вершини виходить одна дуга. Всі дуги позначаємо стрілками а у вершини вписуємо суму 30,6 грн.

З вершини $4в$ можливі три шляхи руху, але вибраний шлях $4в - 5б - 6в - 7г$, тому що він дає мінімальне значення $L_{i+1} = 54,6$ грн. Дугу $4в - 5б$ позначаємо стрілкою.

Результати розгляду значень функції L_{i+1} у вершинах $3б$ і $3г$ аналогічні отриманим раніше результатам розгляду вершин 5-го ярусу.

З кожної вершини 2-го ярусу можливий рух в одну з двох вершин 3-го ярусу. Визначимо можливі шляхи руху з вершин $2а$, $2б$, $2в$, $2г$ і $2д$ парним зіставленням значень функції L_{i+1} . Ці значення враховують довжини дуг, що

виходять з цих вершин і направлених у вершини $3б$ і $3г$. Всі дуги із стрілками сходяться у вершині $3б$.

З вершини $1в$ можливі п'ять шляхів руху у вершини 2-го ярусу, проте найкоротший шлях у вершину останнього ярусу проходить через вершину $2а$. Мінімальне значення функції L_{i+1} , рівне 74 грн, визначає вартість відновлення деталі із застосуванням технологічного процесу, який описується поєднанням операцій $1в - 2а - 3б - 4в - 5б - 6в - 7г$ і складається з електродугового напилення і точіння пояска, розточування і хонінгування під ремонтний розмір дзеркала циліндра і точіння пояска різцями з надтвердих матеріалів.

Припуск на механічну обробку дзеркала циліндра за рахунок використання поверхневого зношеного шару металу є лише на заготовках, які не вичерпали ремонтних розмірів. У іншому випадку необхідно створювати припуск нанесенням покриття, установкою ДРД або пластичною деформацією матеріалу заготовки.

У думці виключимо з графа вершину $2а$ і пов'язані з нею дуги. Якщо повторити розрахунок спочатку, то для графа нового змісту оптимальний технологічний процес описується ознаками $1в - 2в - 3б - 4в - 5б - 6в - 7г$ і складається з термопластичного обтискання заготовки, електродугового напилення і точіння пояска, розточування і хонінгування під номінальний розмір дзеркала циліндра і точіння пояска різцями з надтвердих матеріалів. Вартість відновлення гільзи циліндра в цьому випадку складає 91,4 грн.

Таким чином, розглянутий метод вибору технологічного процесу, заснований на врахуванні різноманіття освоєних і гіпотетично можливих способів створення ремонтних заготовок, обробки і зміцнення, задовольняє встановленим обмеженням за якістю і продуктивністю і забезпечує найменші витрати на свою реалізацію. Якщо виробничі можливості підприємства не дозволяють упровадити запропонований процес, то шляхом виключення його нездійснених ознак можна знайти інший процес, найбільш близький до оптимального рішення.

Співвідношення витрат на матеріали, енергію і заробітну плату, що змінюються, поява нових технічних рішень вимагає періодичного перегляду результатів оптимізації.

10.3. Технічне нормування праці

Визначення і значення нормування праці. *Технічне нормування праці* полягає у встановленні технічно обґрунтованих норм часу. Працю нормують на рівні технологічних операцій.

Технічне нормування значно впливає на собівартість продукції, оскільки в нього входить як безпосередньо заробітна плата робочих з нарахуваннями, так і накладні витрати, що становлять 200–900 % від заробітної плати виробничих робочих. Необхідна умова зростання продуктивності праці полягає в технічному переобладнанні виробництва новітньою технікою, впровадженні заходів щодо вдосконалення устаткування, технології і організації виробництва, поліпшенні умов праці і підвищенні кваліфікації працюючих.

Види норм і методи нормування. Залежно від виду основного часу, серійності виробництва і досвіду нормування застосовують досвідо-статистичні і технічно обгрунтовані норми часу.

Досвідо-статистичні норми часу встановлюють з урахуванням існуючих норм на подібні роботи. Метод застосовують в одиничному і дрібносерійному виробництві при нормуванні ручних і машинно-ручних робіт (розбірних, слюсарних, складальних і ін.), він заснований на застосуванні статистичних даних і особистому досвіді нормувальника. Застосування методу у край обмежене, тому що його результати не служать стимулом підвищення продуктивності праці.

Технічно обгрунтовані норми часу встановлюють аналітичним методом. Він передбачає: ділення операції на елементи (переходи або прийоми); аналіз чинників, що впливають на тривалість або можливість виключення даного елемента; поліпшення структури операції; розрахунок норми часу по елементах операції; розробку заходів, що забезпечують можливість впровадження встановленої норми. Метод є основним у великосерійному виробництві.

Технічно обгрунтовані норми отримують аналітично-дослідницьким і аналітично-розрахунковим методами.

Аналітично дослідницький метод передбачає безпосереднє спостереження за операцією на робочому місці або в технологічних лабораторіях за допомогою фотографії робочого часу або хронометражу. При цьому ретельно аналізують організацію робочого місця і уточнюють технологічні режими. Область застосування методу – нормування ручних або машинно-ручних робіт в серійному і великосерійному виробництві.

Фотографія робочого часу полягає в безпосередньому обліку часу по частинах операції. Спостереження ведуть за всіма витратами часу на робочому місці протягом декількох робочих змін, однієї зміни або деякої її частини. Фотографія робочого часу служить в основному для накопичення матеріалу для розробки нормативів на підготовчо-завершальний час, час обслуговування робочого місця, регламентованих перерв, відпочинку і особистих потреб, виявлення втрат робочого часу і їх причин з метою попередження.

Хронометраж застосовують для вимірювання витрат робочого часу на виконання операції або її елементів. Хронометраж необхідний для підготовки матеріалів для розробки нових і зміни норм часу, що діють. За допомогою хронометражу накопичують матеріал для розробки нормативів машинно-ручного і допоміжного часу в умовах масового і великосерійного виробництва, вивчають методи виконання комплексних прийомів для виявлення їх кращих поєднань і розповсюдження передового досвіду.

Аналітично розрахунковий метод передбачає розрахунок норми часу на основі використання заздалегідь розроблених залежностей. Його застосовують при нормуванні верстатних робіт з урахуванням заздалегідь складених в технологічних лабораторіях нормативних даних по режимах обробки і хронометражним дослідженням типового основного, допоміжного і підготовчо-завершального часу.

Дослідницько-статистичні норми менш точні в порівнянні з технічно обґрунтованими нормами часу, тому що встановлюються збільшено без розкладання трудових витрат на складові елементи і базуються на заздалегідь досягнутому рівні продуктивності праці.

У нормах часу використовують їх прогресивні значення, які вищі за рівень середніх показників, фактично досягнутих підприємством, але нижчі максимальних, досягнутих передовими робочими. Такі норми стимулюють колектив на повне використання резервів виробництва і сприяють кращій його організації.

При розрахунку чисельності керівників враховують норму *керованості*, яка визначається як регламентоване максимальне число працівників, якими може ефективно керувати одна людина в умовах даного підприємства. До таких умов відносяться: організація робочих місць, забезпечення матеріалами, кваліфікація підлеглих і керівника та ін.

10.4. Уніфікація технологічних процесів

Види технологічної уніфікації. Технологічна уніфікація зменшує різноманітність процесів, виключає дублювання робіт з технологічної підготовки ремонтного виробництва, зменшує її трудомісткість і тривалість, розширює масштаби застосування прогресивних засобів і процесів, реалізує політику ресурсозбереження та забезпечує гнучкість виробництва. Основний засіб технологічної уніфікації – це обґрунтування мінімального числа різновидів технологічних процесів, близьких за змістом.

Існують наступні види технологічної уніфікації: типова, групова і модульна.

Першим видом технологічної уніфікації обробки заготовок була типова. Розробка *типових* процесів базується на класифікації деталей. Клас являє собою множину деталей схожої форми, зв'язаних спільністю технологічних завдань. Деталі одного класу обробляють за типовими технологічними процесами, які характеризуються однаковим змістом та послідовністю виконання більшості технологічних переходів. Типові технологічні процеси для обробки класів конструктивно подібних заготовок запропонував проф. А. П. Соколовський.

Цей вид уніфікації набув найбільшого поширення в авторемонтному виробництві у вигляді типових технологічних процесів листового штампування, нанесення металевих і лакофарбових покриттів, обробки заготовок різанням і складання.

Групова обробка встановлює ідентичні способи обробки заготовок з однаковими технологічними, але різними конструктивними ознаками з використанням швидкопереналагоджуемого верстатного обладнання. Групову обробку заготовок запропонував проф. С. П. Митрофанов.

Сутність *модульної технології* полягає у створенні процесів з блоків (модулів), поєднання яких визначається конкретними завданнями і умовами виробництва. Модульна технологія заснована на уявленні деталі сукупністю геометричних модулів, під якими розуміють поєднання поверхонь, призначених для спільного виконання службової функції. Модульний принцип формування тех-

ніки розробив проф. А. Л. Васильєв, а модульну технологію запропонував і розвинув проф. Б. М. Базров.

Технологічну уніфікацію процесів виконують на трьох рівнях: державному, галузевому та підприємства. Принципова відмінність типової і групової технологій одна від одної полягає в тому, що типові процеси характеризуються спільністю послідовності і змісту операцій при обробці класу заготовок, а групова обробка – спільністю обладнання та оснащення при виконанні окремих операцій або при відновленні групи різнорідних деталей. Іншими словами, безліч виробів при обох видах уніфікації володіє однаковими технологічними ознаками, однак при типовій уніфікації ця безліч складається з виробів з однаковими конструктивними ознаками, а при груповій уніфікації – з виробів з різними конструктивними ознаками. Кодування виробів сприяє їх класифікації та групуванню.

Роботи з розробки типового технологічного процесу починаються з класифікації виробів і кількісної оцінки отриманих класів. Далі вибирають вироб-представник, в якому є всі конструктивні елементи виробів класу. Розробляють маршрут виготовлення, ремонту або відновлення типового виробу, при цьому вибирають технологічні бази, види обробки і обладнання. Розробляють технологічні операції з урахуванням вибору їх структури, раціональної послідовності переходів і оснащення. Оснащення повинне забезпечувати можливість обробки на ньому всіх виробів класу. Визначають припуски на обробку, її режими, матеріальні і трудові нормативи. Правила розробки і застосування типових технологічних процесів регламентовані ГОСТ 14.303-83. Змінні відомості по різних виробках класу вводяться в технологічну документацію у вигляді табличних даних.

Груповий технологічний процес призначений для спільного виготовлення або ремонту групи виробів різної форми в конкретних умовах виробництва в послідовності технологічного маршруту на спеціалізованих робочих місцях. При обробці групи виробів можливе підналагодження верстатного обладнання. Організація групового виробництва істотно підвищує серійність виробництва.

Особливість утворення груп оброблюваних виробів різної форми полягає у виявленні технологічної подібності виробів з урахуванням основних факторів організації виробництва.

Правила розробки групових технологічних процесів визначені ГОСТ 14.316-83. Основним елементом розробки процесу є групування виробів з вибором комплексного виробу. Його конструкція повинна містити основні, що підлягають обробці, елементи виробів групи. В якості комплексного виробу приймають: один з виробів групи; реально існуючий але відсутній в групі виріб; умовний виріб. Комплексний виріб може бути замінено двома чи кількома виробами групи. Потім розробляють маршрут виготовлення комплексного виробу, визначають кількість і послідовність групових технологічних операцій і вибирають обладнання. Розраховують точність, продуктивність і ефективність варіантів групових технологічних процесів, визначають трудові та матеріальні нормативи. На закінчення розробляють заходи для реалізації групового виробництва і оформляють документацію.

Безліч модулів поверхонь деталей обмежено 26 найменуваннями, що відкриває перспективи щодо уніфікації технологічних процесів, обладнання та оснащення при обробці різних деталей за рахунок розробки модульних технологічних процесів.

Модульний технологічний процес являє собою ряд технологічних операцій відновлення одного модуля поверхонь. Кожна операція забезпечена відповідним типовим устаткуванням, пристосуваннями, інструментами та засобами вимірювань. Модульний процес об'єднує в собі переваги одиничного процесу (враховує особливості конкретної деталі), типового процесу (зберігає ідею типізації на рівні відновлення модуля поверхонь) і групового процесу (об'єднує різні деталі в групи навіть в одиничному виробництві). Основна особливість модульної уніфікації полягає в застосуванні обмеженої кількості модульних технологічних операцій для відновлення необмеженої кількості деталей. Технологічні карти модульного технологічного процесу розробляють за стандартами підприємства.

Модульна технологія дозволяє впровадити потокову організацію відновлення деталей в дрібносерійному та одиничному виробництві. Виробництво, побудоване на модульному принципі, стає гнучким, здатним в найкоротші терміни з найменшими витратами перейти на відновлення деталей нових видів з мінімальною трудомісткістю технологічної підготовки ремонтного виробництва.

Застосування модульних технологій найбільш ефективно при підготовці багатомономенклатурного виробництва. Це дозволяє широко використовувати окремі засоби і процеси при ремонті складної техніки. Особливої актуальності цей напрям набуває в умовах сьогодення при відсутності централізованого фінансування та небажання бізнесу вкладати кошти в довгострокові проекти.

Капітальні витрати на створення модульного комплексу обладнання нижчі, ніж на створення типового обладнання, реконструкція виробництва може виконуватися поетапно, кошти, отримані від експлуатації перших модулів, можуть бути використані для виготовлення нового обладнання. Можливе перепрофілювання виробництва при його розширенні, при цьому зменшуються терміни освоєння.

10.5. Технологічна документація

Види і зміст технологічних документів. *Технологічний документ* – це документ, який окремо чи в сукупності з іншими документами визначає технологічний процес чи операцію ремонту виробу.

Документи на технологічні процеси оформляють відповідно до вимог стандартів ЄСТД. Основні технологічні документи бувають загального і спеціального призначення.

Технологічні документи ділять на текстові та графічні.

Текстові документи містять в основному суцільний текст або текст, розбитий на графи, розділи та підрозділи. При розробці текстових документів в залежності від виду та характеру виробництва застосовують такі види опису технологічних процесів: маршрутний, операційний, маршрутно-операційний.

Маршрутний опис технологічного процесу включає скорочений опис всіх технологічних операцій в маршрутній карті в послідовності їх виконання без вказівки переходів і технологічних режимів.

Операційний опис технологічного процесу включає повний опис всіх технологічних операцій в послідовності їх виконання із зазначенням переходів і технологічних режимів.

Маршрутно-операційний опис технологічного процесу включає скорочений опис технологічних операцій в маршрутній карті в послідовності їх виконання з повним описом окремих операцій в інших технологічних документах.

При розробці технологічних процесів ремонту в основному застосовують їх маршрутно-операційний опис.

Графічні документи, що містять зображення виробу, служать наочною додатковою інформацією до текстових документів для ілюстрації виконуваних дій. До графічних документів відносять ескізи на вироби або на їх складові частини, технологічні установи і позиції, технологічні схеми (кінематичні, електричні, гідравлічні тощо), графіки та ін.

Для документів маршрутного і маршрутно-операційного опису допускається не розробляти ескізи, а застосовувати відповідні конструкторські документи, оформлені відповідно до вимог стандартів ЄСКД.

Сукупність технологічних документів, необхідних і достатніх для виконання технологічного процесу або операції, являє собою комплект документів технологічного процесу (операції).

Технологічний процес ремонту (відновлення) виробу містить опис дій над цим виробом з метою досягнення параметрів його якості, які визначені конструкторською документацією. Технологічний процес розробляють на основі передових та продуктивних способів обробки з урахуванням типу виробництва та наявного обладнання. Технолог забезпечує обмеження за якістю продукції та обсягом її випуску при мінімальних витратах виробничих ресурсів.

Технологічний документ містить відомості про тип і моделі обладнання, що застосовується, послідовність операцій і переходів, базам і способах установки виробів, пристосуваннях і інструменту. В ньому визначено заходи з охорони праці, призначені технологічні режими, розраховані матеріальні і трудові нормативи.

Послідовність проходження виробу по підрозділах заводу при виконанні технологічного процесу ремонту (відновлення) цього виробу є *технологічний маршрут*.

Технологічні документи оформляють на бланках, що відповідають типу виробництва та видам обробки виробів. Інформацію викладають на аркушах стандартних форми і розмірів. Передбачені форми з вертикальними і горизонтальними полями підшивки для опису одиничних, типових і групових технологічних процесів, які виконуються різними методами обробки.

Зображення виробу на ескізі містить розміри, граничні відхилення, позначення шорсткості, баз, опор, установочно-затискних пристроїв, необхідних для виконання операцій, для яких розроблено ескіз. Вироби на ескізах зображують із приблизним дотриманням пропорцій в робочому положенні на опера-

ції. Всі розміри або конструктивні елементи нумерують арабськими цифрами. Оброблювані поверхні обводять лінією подвійної товщини. Номери розмірів проставляють в колі діаметром 6–8 мм і з'єднують з розмірною або виносною лінією. Номери проставляють по ходу годинникової стрілки, починаючи з лівої верхньої частини ескізу. При цьому значення розмірів і граничних відхилень оброблюваної поверхні в тексті змісту операції не вказують. Графічні позначення опор, затискачів і встановлюваних пристроїв наведені в ГОСТ 3.1107-81.

Вплив на об'єкт, що ремонтується, записують в технологічній послідовності операцій, переходів, прийомів робіт а також фізичних і хімічних процесів. Операції нумерують числами ряду арифметичній прогресії (5, 10, 15 і т. д.), допускається до чисел зліва додавати нулі, переходи – числами натурального ряду (1, 2, 3 і т. д.), а установи – прописними буквами російського алфавіту (А, Б, В і т. д.). Для позначення позицій і осей застосовують римські цифри.

Технічні вимоги до виробу оформляють по ГОСТ 2.316-68.

При викладі технологічних процесів інформацію вносять порядково. Для викладу технологічного процесу в маршрутній карті передбачений ряд типів рядків, кожному з яких відповідає свій службовий символ (табл. 10.2).

Таблиця 10.2 Інформація технологічного документу, що визначається службовими символами

Службовий символ	Зміст інформації, що вноситься в граfi, розташовані на рядку
А	Номер цеху, дільниці, робочого місця, номер, код і найменування операції (для форм з горизонтальним полем підшивки)
Б	Код, найменування обладнання та інформація про трудовитрати (для форм з горизонтальним полем підшивки)
В	Номер цеху, дільниці, робочого місця, номер, код і найменування операції (для форм з вертикальним полем підшивки)
Г	Позначення документів, що застосовуються для виконання операції (для форм з вертикальним полем підшивки)
Д	Код, найменування обладнання (для форм з вертикальним полем підшивки)
Е	Інформація про трудовитрати (для форм з вертикальним полем підшивки)
К	Інформація по комплектації виробу (для форм з горизонтальним полем підшивки)
М	Інформація про матеріал
О	Зміст операції
Т	Інформація про оснащення
Л	Інформація по комплектності виробу (для форм з вертикальним полем підшивки)
Н	Інформація по комплектності виробу із зазначенням, звідки надходять його складові частини (для форм з вертикальним полем підшивки)

Черговість заповнення службових символів визначена ГОСТ 3.1118-82. Рядки поділяють на графи вертикальними відрізками прямої лінії довжиною 0,5–1,5 мм. Для різних документів передбачають графи різної довжини, які нумерують. Документ приймає структуру таблиці. Службові символи умовно виражають склад інформації, розміщеної у графах даного типу рядка. В якості позначення службових символів прийняті літери російського алфавіту, що ставляться перед номером відповідного рядка і виконані прописними літерами, наприклад, М01, А12 і т. д. Ці символи розташовують на рядках нижче граф, в яких вказані їх найменування і позначення. Інформація, яку вносять у відповідні графи документа, і послідовність заповнення цієї інформації для кожної операції визначені ГОСТ 3.1118-82.

Стосовно до обробки різанням правила оформлення технологічних документів викладені в ГОСТ 3.1404-86, загальні вимоги до форм, бланків і документів – в ГОСТ 3.1104-81, а комплектність документів – в ГОСТ 3.1119-83. Правила запису операцій і переходів для обробки різанням наведені в ГОСТ 3.1702-79.

Маршрутна карта містить відомості про весь технологічний процес. Інформацію на рядках, які мають службовий символ О, наводять в технологічній послідовності по всій довжині рядка з можливістю перенесення на наступні рядки. Зміст операції включає дії виконавця, остаточні параметри виробу і його комплектуючі частини. У маршрутній карті назву операцій записують у формі прикметника до слова «операція» та короткий зміст робіт. Операція отримує назву від найменування того обладнання, на якому вона виконується. Короткий запис змісту операції роблять із зазначенням виду обробки та оброблюваних поверхонь. Інформацію на рядках, які мають службовий символ Т; приводять у такій послідовності: пристосування, допоміжний інструмент, ріжучий інструмент, засоби вимірювання.

При розробці типових і групових технологічних процесів в маршрутній карті вказують тільки постійну інформацію, що відноситься до всієї групи виробів.

Операційна карта описує одну операцію. Стосовно до механічної обробки в ній вказують: найменування виробу і деталі; вид і матеріал заготовки, його твердість; найменування і модель верстата, відомості про пристосування; спосіб установки заготовки; зміст переходів з вказівкою режимів обробки; найменування різального інструменту і засобів вимірювань; машинний та допоміжний час обробки. Склад відомостей повинен бути достатнім для виконання операції з необхідною якістю.

Запис змісту переходу включає:

- ◆ ключове слово з рекомендованих, що характеризує спосіб обробки і виражене дієсловом у невизначеній формі (наприклад, точити, свердлити і т. д.);
- ◆ найменування оброблюваної поверхні, конструктивних елементів або предметів виробництва (наприклад, циліндр, галтель і т. д.);
- ◆ інформацію про розміри або їх умовні позначення і конструктивні елементи;

◆ додаткову інформацію, що характеризує кількість одночасно або послідовно оброблюваних поверхонь, характер обробки (наприклад, попередньо, одночасно, по копіру і т. д).

При записі змісту операції використовують повну або скорочену форму. *Повну форму запису* виконують при відсутності графічних зображень і для комплектного відображення всіх дій, виконаних виконавцями. *Скорочений запис* використовують при наявності графічних зображень, які досить повно відображають всю необхідну інформацію по обробці.

Зміст переходу в документах приводять по всій довжині рядка з можливістю перенесення інформації на наступні рядки. У записі інформації або переходу не рекомендується вказувати шорсткість оброблюваних поверхонь.

Запис допоміжних переходів виконують згідно з записом основних переходів.

Дані про технологічне оснащення приводять з використанням класифікаторів, стандартів на її кодування із зазначенням найменування. Інформацію наводять в послідовності, зазначеній для маршрутної карти. Технологічні режими наводять після запису складу застосовуваної технологічної оснастки.

У технологічних документах для кожної операції обов'язково приводять вимоги безпеки праці за ГОСТ 3.1120-83 з посиланнями на діючі на даному підприємстві інструкції з охорони праці, відповідні вимоги стандартів ССБП, санітарні норми і правила та інші документи.

Оформлення документів. Технологічний процес спочатку розробляють для ремонту (відновлення) виробів нового виду, а потім цей процес вдосконалюють з урахуванням досвіду його застосування та аналізу, а також досягнень науки і виробництва.

Технологічну документацію розробляють технологи заводського технологічного (технічного) відділу або цехового технологічного бюро. Робота відділу або бюро планується і підпорядкована технологічній підготовці виробництва. Документацію враховують і зберігають у заводському архіві.

Оформлення технологічного документу включає комплекс процедур, необхідних для його підготовки і затвердження відповідно до порядку, встановленому на підприємстві.

Технологічну документацію розробляють у дві стадії: для дослідного (літера РО) і серійного виробництва (літера РА). На першій стадії зазвичай розробляють одиничний процес маршрутного опису. Маршрутна карта є основним і обов'язковим документом, в якому описується весь процес в технологічній послідовності.

11. Відновлення типових деталей автомобілів

11.1. Обґрунтування класів відновлюваних деталей

Різноманітні по функціям і виконанню автомобільні агрегати стають однорідними на рівні їх деталей. Аналіз деталей за формою, матеріалами, розмірами та службовим призначенням показує, що вони можуть бути віднесені до обмеженої кількості класів. Кожному класу деталей, як правило, відповідає своя ділянка відновлення, що використовує уніфіковані технологічні процеси. У авторемонтному виробництві застосовують класифікації деталей К. Т. Кошкіна і Г. А. Малишева. Найбільший вплив на надійність відремонтованих агрегатів має якість відновлення таких класів деталей:

- ◆ нерухомих: корпусів, картерів, гільз;
- ◆ що обертаються: валів, дисків, зубчастих коліс, кулачків, ексцентриків;
- ◆ що рухаються поступально: поршнів, штоків, повзунів, клапанів;
- ◆ що беруть участь у перетворенні рухів: важелів, шатунів, штанг.

Близько 90% трудомісткості і собівартості робіт припадає на відновлення наведених класів деталей. Розглянуті нижче деталі (корпусні, вали, гільзи й стрижні з отворами) складають 60–80% маси агрегату. Їх технічний стан найбільшою мірою визначає надійність відремонтованих агрегатів. При викладі матеріалу використано інформацію по виготовленню однойменних деталей на автомобільних заводах.

11.2. Відновлення корпусних деталей

Основні дефекти і вимоги до відновлення. До корпусних деталей відносять блоки і головки циліндрів, картери зчеплень, кришки розподільчих шестерень, корпуси карбюраторів, оливних, водяних і паливних насосів та ін. Матеріал корпусних деталей, отриманий з виливок, – сірий чавун (СЧ 18), алюмінієвий (АЛ 4) або цинковий (ЦАМ) сплави. Найбільш поширений перший вид матеріалу.

Корпусні деталі орієнтують рухомі деталі агрегату при його роботі. Визначальними ознаками корпусної деталі є: коробчаста форма, необхідна для утворення закритого робочого об'єму з метою розміщення різних механізмів агрегату; жорсткі стінки з ребристими приливами, що піддаються статичним і динамічним навантаженням, в яких виконані гладкі та різьбові отвори; наявність довгих отворів, виконаних в зібраних деталях (у тому числі з різних матеріалів), коли площина з'єднання проходить через вісь отворів; наявність стикових площин; мала шорсткість і висока точність розмірів, форми й розташування основних циліндричних і плоских поверхонь.

Основні дефекти корпусних деталей: тріщини в стінках, проломини, викривлення або знос стиків, руйнування різей, деформація або знос напрямних і опорних елементів, корозія. Деталі з тріщинами, що проходять через приливи з точними отворами, підлягають вибраковуванню.

В корпусних деталях відновлюють міцність і герметичність стінок та геометричну точність елементів.

Одна з найбільш складних в технологічному відношенні корпусних деталей – це блок циліндрів двигуна, який на операціях виготовлення збирається з кришками корінних підшипників і картером зчеплення (рис. 11.1).

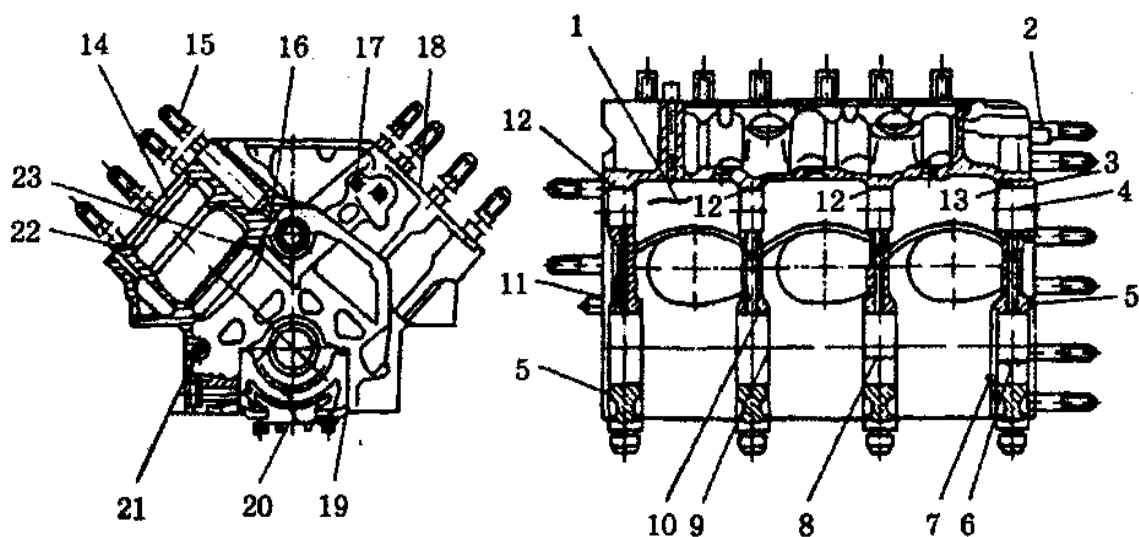


Рис. 11.1. Основні пошкодження блоку циліндрів дворядного двигуна:

1, 20 і 21-тріщини; 2-знос осей і штифтів; 3 - знос торця підшипника розподільчого вала; 4 та 8-гранична неспіввісність отворів під розподільчий вал і корінних опор; 5-забоїни плоских поверхонь; 6-знос торців кришок корінних опор; 7 - знос отворів під штифти; 9-знос бічних поверхонь кришок корінних опор; 10 - деформація поверхонь отворів корінних опор; 11 - ослаблення посадки осі в блоці; 12 - деформація поверхонь отворів під втулки розподільчого вала; 13 - знос отворів у втулках розподільчого вала; 14, 22, 23 - деформація і корозія поверхні отворів і торця під гільзу; 15, 17 - пошкодження різей; 16 - знос отворів під штовхачі; 18 - деформація площини під головку циліндрів; 19-знос бічних поверхонь під кришки корінних опор

Ця складальна одиниця не розукомплектовується при експлуатації і ремонті. Точність розмірів, форми і розташування спряжених поверхонь і отворів впливає на довговічність відремонтованого агрегату тому ці поверхні мають бути точно виконані. Так, наприклад, показники точності елементів, які визначають надійність підшипників колінчатого і розподільчого валів, мають такі значення. Допуски на розміри отворів відповідають 5-му або 6-му квалітету точності, сумарний допуск округлості і профілю поздовжнього перерізу отворів – 6-й або 7-й ступені, паралельність осей отворів підшипників розподільчого валу і отворів у корінних опорах – 8-го або 9-го ступеня, співвісність середньої корінної опори щодо крайніх – 5-го або 6-го ступеня. Шорсткість оброблених отворів $R_a = 0,63$ мкм.

Процес відновлення. Схема технологічного процесу відновлення корпусних деталей наступна: попередня механічна обробка пошкоджених елементів деталі; виготовлення ДРД; зварювальні (в тому числі пов'язані з закріпленням ДРД) і наплавлювальні роботи; відпал для зняття внутрішніх напружень після зварювання; напилення поверхонь; механічна обробка зварених швів; нанесення пластмасових покриттів; установка ДРД, що закріплюються силами пружно-

сті, клеєм і штифтами; чорнова механічна обробка стиків і отворів; нарізування різьей номінального і ремонтного розмірів і установка спіральних різьбових вставок; чистова обробка поверхонь; обробка поверхонь, очищення; контроль відновлення.

Механічна обробка на початку технологічного процесу служить для видалення пошкоджених елементів, надання відновлюваним поверхням правильної геометричної форми, оброблення тріщин, виконання упорів і стиків під установлення ДРД.

Тріщини обробляють, наприклад, за допомогою ручної шліфувальної машинки ИП-2002. В якості інструменту використовують армований абразивний круг. В кінці тріщин висвердлюють отвори діаметром 3 мм. Тріщини в чавунних стінках заварюють дротом ПАНЧ-11 або -12, чи штучними електродами ЦЧ-3А. Зварний шов наносять ділянками довжиною 20–25 мм, які проковують. Зварювальні роботи на деталях з алюмінієвого сплаву виконують за допомогою установки для аргонодугового зварювання.

Зварювальні і наплавлювальні роботи пов'язані із вкладенням теплоти в матеріал деталі та викликають великі внутрішні напруження і супутні деформації. Деформації чавунних заготовок можуть бути зменшені їх нагріванням перед зварюванням, витримкою при температурі 600 °С під час зварювання і охолодженням разом з піччю. На місце обламаних приливів корпусних деталей, виконаних з алюмінієвого сплаву, приварюють ДРД. Корпусні деталі з алюмінієвого сплаву, виготовлені кокильним литтям, після зварювання повинні пройти нагрівання і витримку при температурі 180 °С протягом 10 год.

В наступній частині технологічного процесу наносять покриття напиленням.

Тріщини і пробоїни в несилкових стінках деталі герметизують накладками за допомогою епоксидних композицій на основі смол ЭД16 або ЭД20.

Основні відновлювані елементи корпусної деталі – це напрямні елементи і отвори під підшипники. Опори корінних підшипників у блоці циліндрів двигуна являють собою точний переривчастий по довжині отвір, виконаний одночасно як у блоці циліндрів, так і в пригвинчених кришках. У ремонтному виробництві апробовані такі способи створення припусків на відновлюваних поверхнях: установка ДРД; нанесення епоксидних композицій; холодне залізнення; газополуменеве наплавлення латуні; електродугове і плазмове напилювання.

Зношені різьби відновлюють нарізанням різьей ремонтного розміру, або заварюванням отворів з їх подальшим свердлінням і нарізуванням різьей номінального розміру, або вкручуванням різьбових вставок в попередньо нарізану різьбу більшого діаметра.

Зношені отвори під штифти розвертають під ремонтний розмір.

Корінні опори і отвори у втулках розподільчого валу розточують за один установ на спеціальному верстаті. Потім корінні опори хонінгують. Як технологічні бази використовують нижню площину блоку циліндрів і два технологічні отвори на ній.

Блок циліндрів наприкінці відновлення збирають з картером зчеплення. Отвір під коробку передач із припуском на обробку розточують з базуванням

складальної одиниці по остаточно обробленим корінним опорам і одному з торців.

Контрольні операції в кінці процесу відновлення складаються з перевірки чистоти деталі, її герметичності, геометричних розмірів елементів і їх взаємного розташування, шорсткості поверхонь. Розміри отворів контролюють індикаторними нутромірами, а шорсткість – профілометрами. Взаємне розташування поверхонь вимірюють індикаторними засобами. Особливу увагу приділяють чистоті і герметичності масляних каналів. Герметичність стінок складальної одиниці перевіряють на стенді.

11.3. Відновлення деталей типу пустотілих циліндрів

Поширений матеріал вставних гільз циліндрів (рис.11.2) – сірий чавун СЧ 24 чи зносостійкий чавун ИЧГ-33М твердістю 197-241 НВ. Найбільшому зносу піддається дзеркало циліндра.

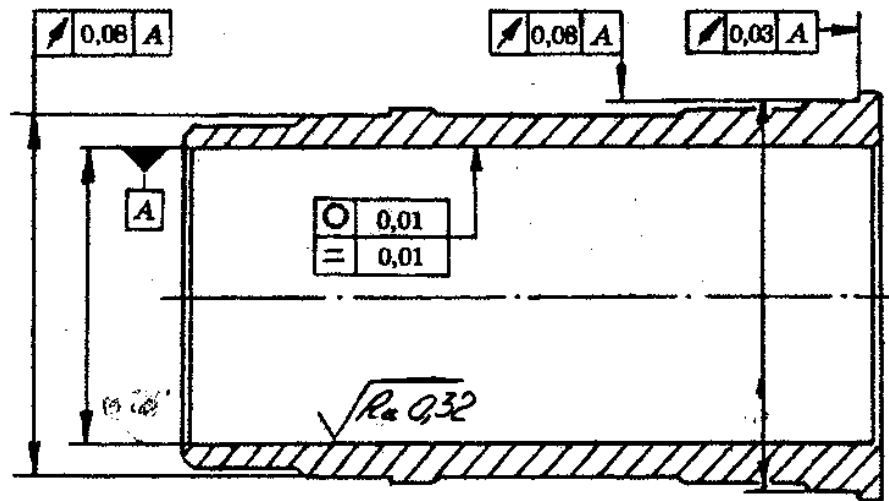


Рис.11

.2.Гільза циліндра (розмірними лініями указані відновлювані розміри)

Центрувальні пояски і стикові площини деформуються.

Дзеркало гільзи циліндрів при наявності припуску обробляють під ремонтний розмір. Рідше припуски під обробку дзеркала циліндра створюють установкою ДРД у вигляді загартованої скручуваної сталеві стрічки, індукційним напіканням порошків, електроконтактним приварюванням сталеві стрічки або термопластичним обтисненням заготовки.

Постановка ДРД у вигляді скручуваної стрічки включає попереднє розточування відновлюваної деталі, мірне відрізування сталеві стрічки, згортання стрічки в трубу у пристосуванні на пресі, почергове (по довжині) запресовування ДРД у гільзу, хонінгування.

При відцентровому індукційному напіканні порошків гільзу встановлюють в патрон установки з горизонтальною віссю обертання, засипають у гільзу порцію матеріалу з композиції порошків ПЖ1 і ПГ-10Н-01 в рівних частках і включають привод з частотою обертання 350–450 хв⁻¹. Порошок рівномірно розподіляється по поверхні гільзи. В її отвір вводять високочастотний індуктор і

подають напругу. Протягом 1,0–1,5 хв порошок нагрівається і приварюється до гільзи. Вимикають індуктор, а через 1,2–2,0 хв і привод. Довговічність оброблених гільз з таким покриттям в 2–3 рази вища, ніж у гільз без покриття, розточених під ремонтний розмір.

Електроконтактне приварювання сталеві стрічки на поверхню циліндра забезпечує міцне з'єднання стрічки з деталлю, хороше тепловідведення від дзеркала циліндра в тіло гільзи і відсутність зазорів у стиках стрічки. Переваги приварювання: невелике нагрівання деталі, можливість приварювання стрічки з впровадженням твердих сплавів і висока продуктивність.

Установка для термопластичного деформування гільзи включає високо-частотний генератор, індуктор, спреєр, пристрій зворотньо-поступального і обертального рухів гільзи. Гільзу встановлюють на стіл, якому надають обертання і поступальний рух знизу вгору. Подають струм високої частоти на індуктор і охолоджуючий розчин в спреєр. Ділянку гільзи нагрівають до температури 840–880 °С.

Можливе нанесення на дзеркало циліндра хромових, залізних, залізофосфорних і залізнікелевих покриттів електрохімічним способом.

Припуск на центрувальному пояску гільзи створюють за допомогою електродугового напилення.

Відновлення площинності робочого торця гільзи можливе шляхом його підрізування на 1 мм під встановлення компенсуючого кільця такої ж товщини при вузловому складанні гільз з блоком циліндрів.

Механічна обробка дзеркала гільзи складається з її розточування і хонінгування. Гільзу циліндра діаметром 92 мм розточують різцями з пластинками з твердого сплаву ВК-3 або ВК-6 при частоті обертання шпинделя 300 хв⁻¹ і подачі 0,1 мм/об на алмазно-розточувальному верстаті 2Е78П. МОР – Аквол-11. Продуктивність обробки збільшується, а шорсткість поверхні зменшується за рахунок застосування інструменту з надтвердих матеріалів, наприклад Эльбору-Р при частоті обертання шпинделя 750 хв⁻¹ або гексаніту-Р при 1200 хв⁻¹. При обробці деталей інструментом з надтвердих матеріалів СОЖ не застосовують.

Плосковершинне хонінгування гільз циліндрів полягає в тому, що два переходи обробки забезпечують мікропрофіль поверхні з впадинами-рисками і площинами, що чергуються. Впадини-риски одержують у першому переході при використанні брусків з штучними алмазами АСК зернистістю 250/160 або 200/160 на металевій зв'язці. Глибина западин становить 7–10 мкм. У другому переході застосовують бруски з алмазами АСО зернистістю 28/20 або 20/14 на металевій зв'язці М1. Шорсткість опорної поверхні між рисками становить $R_a = 0,32$ мкм.

Пристрій активного контролю розміру отвору при хонінгуванні (рис. 11.3) в своєму складі має жорсткий калібр 1. Цей калібр рухається разом з хонінгувальною голівкою і при досягненні заданого значення діаметру оброблюваного отвору входить у нього і викликає спрацьовування електроконтактного перетворювача 2, який видає сигнал на припинення обробки.

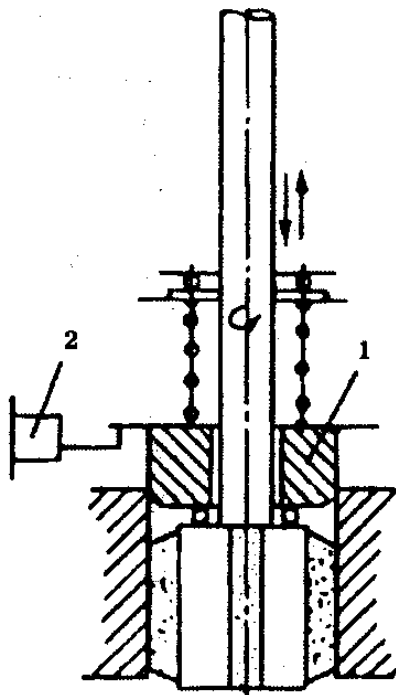


Рис. 11.3. Схема вимірної установки хонінгувального верстату

Припрацювальний знос гільз зменшується в 3 рази після антифрикційного хонінгування. Воно полягає в тому, що після двох операцій хонінгування (чорнового й чистового) поверхню обробляють брусками, що містять припрацювальні антифрикційні матеріали (графіт, дисульфід молібдену).

На контрольній операції перспективно застосовувати пневматичні довгоміри для вимірювання внутрішнього діаметра і конусності отворів гільз циліндрів і сортування їх на розмірні групи.

11.4. Відновлення деталей типу круглих стрижнів

Призначення деталей і основні пошкодження. Основними представниками деталей цього класу є вали та осі.

Вали служать в агрегатах для передачі моменту і перетворення рухів (поступального в обертальний або навпаки). Найбільш складні деталі з них – це колінчасті і розподільні вали. Деталі мають такі конструктивні елементи: шийки, кривошипи, кулачки, шпонкові пази, торці, стики і отвори.

Осі на відміну від валів не передають крутні моменти і навантажені тільки поперечними силами і згинаючими моментами. Осі мають лише частину перерахованих конструктивних елементів, що належать валам.

Колінчасті вали (рис. 11.4) виготовляють із конструкційних (сталь 45), легированих (18ХНВА, 18ХНЗА, 20ХГНМ та ін.) сталей або високоміцного чавуну

(ВЧ 50, ВЧ 70). Розподільні вали виготовляють з покращених сталей 45, 40Г, 50Г або цементуємих сталей 20, 20Г.

По конструкції колінчасті вали є відносно не жорсткою деталлю, в той же час сприймають великі змінні навантаження і піддаються впливу сил кручення і згину .

Колінчасті вали повинні задовольняти наступним вимогам , що характеризують геометричну точність і якість поверхневого шару деталей.

1. Твердість шийок , що піддаються загартуванню , повинна бути не менша 52 HRC . При цьому галтельні переходи не повинні піддаватися загартуванню.

2. Шорсткість циліндричних поверхонь шийок діаметром до 100 мм повинна бути менша $R_a 0,32$, діаметром більше 100 мм - менша $R_a 0,63$ мкм.

3. Діаметри корінних і шатунних шийок повинні виконуватися по 6-7 квалітету точності. Відхилення від округлості при цьому повинні відповідати 5-6 квалітету .

4. Биття корінних шийок щодо осі валу не повинно перевищувати 0,03 мм для шийок діаметром 100 мм , і 0,04 мм для шийок діаметром більше 100 мм.

5. Відхилення радіуса кривошипа допускається не більше $\pm 0,15$ мм на 100 мм довжини радіуса . При цьому зміщення кутів між колінами кривошипів допускається не більше $\pm 30'$ по всій довжині вала.

6. Биття торця з'єднувального фланця кріплення маховика має бути не більше 0,01 мм на 100 мм діаметру фланця.

7. Колінчастий вал повинен бути динамічно збалансований. Величина дисбалансу повинна знаходитися в межах 20 ... 70 г·см. Більші значення дисбалансу допускаються при частотах обертання вала менш 1500 хв^{-1} .

Складність конструктивної форми колінчастого валу, його недостатня жорсткість, високі вимоги до точності оброблених поверхонь висувають особливі вимоги до вибору баз для закріплення і обробки вала, а також послідовності операцій та вибору устаткування. Основними базами колінчастого вала є опорні поверхні корінних шийок . Однак далеко не на всіх операціях обробки можна використовувати їх в якості технологічних. Тому в деяких випадках технологічними базами вибирають поверхні центрових отворів . У зв'язку з порівняно невеликою жорсткістю вала на ряді операцій при обробці його в центрах в якості додаткових технологічних баз використовують зовнішні поверхні попередньо оброблених шийок. При обробці шатунних шийок, які відповідно до вимог технічних умов повинні мати необхідну кутову орієнтацію, опорною технологічною базою є спеціально фрезеровані площини на щоках. Типовий технологічний маршрут обробки штампованих сталевих колінчастих валів для ЗІЛ -130, наприклад, може бути представлений в такій послідовності :

фрезерування торців;

свердління центрових отворів;

фрезерування технологічних опорних баз на щоках;

обточування кінців вала і корінних шийок;

попереднє шліфування корінних шийок;

обточування противаг і щік;

обточування шатунних шийок;
обробка поверхонь камер грязезбірників , мастильних каналів і шпонкових пазів;

термічна обробка - загартування корінних і шатунних шийок;

остаточне шліфування кінця валу , корінних шийок і фланця;

остаточне шліфування шатунних шийок;

обробка отворів у фланці і на кінцях вала;

розточування поверхні посадкового отвору під підшипник з боку фланця;

полірування поверхні корінних і шатунних шийок .

Деформації колінчастого валу, викликані силами різання в процесі обробки, змушують вдаватися до багаторазової його правки на пресі . Кількість правок в залежності від конструкції валу і виду виробництва коливається в досить широких межах (від 3 до 9). Правка викликає внутрішні напруження , які можуть призвести до деформації вала при подальшій його обробці , тому вона є мало бажаною операцією. У той же час усунення правки викликало б збільшення припусків на обробку і підвищення трудомісткості механічної обробки.

Основними дефектами працюючих колінчастих валів є спрацювання корінних та шатунних шийок.

Причиною спрацювання шатунних шийок по довжині на конус є нерівномірний розподіл навантажень та перекіс деталей шатунно-поршневої групи. Овальна форма по колу шийки з'являється під впливом знакозмінних навантажень, тиску газів на поршень та інерційних навантажень шатунно-поршневої групи.

Корінні шийки колінчастого валу спрацьовуються головним чином на овал. Спрацювання на конус незначне.

Дефекти, що виникли, ліквідують методами наплавлення або напилення з послідуною механічною обробкою на шліфувальних верстатах.

Шліфувати корінні шийки порівняно жорстких одноколінчастих і двохколінчастих валів можна і на звичайних круглошліфувальних верстатах. Однак, як правило , шийки валів шліфують на спеціалізованих верстатах. При шліфуванні корінних шийок вал встановлюють в центрах із застосуванням люнетів. При досить великих масштабах випуску корінні шийки шліфують на верстатах, оснащених кількома шліфувальними кругами, що мають автоматичний цикл врізного шліфування з виходжуванням, правкою круга і активним контролем розмірів. Таке шліфування висуває високі вимоги до однорідності шліфувальних кругів в комплекті. Круги мають діаметр 1000-1100 мм і ширину 25- 85мм .

Шатунні шийки шліфують одним кругом по черзі . В якості технологічної бази вибирають поверхню корінних шийок, а для кутової орієнтації - отвори у фланці. Шліфування проводять на верстатах з двостороннім приводом, причому при установці в пристосуванні вісь корінних шийок зміщена від осі обертання шпинделя на величину радіуса кривошипа .

Останнім часом для шліфування корінних і шатунних шийок колінчастих валів створені автоматичні лінії. Так, автоматична лінія фірми NORTON (США), призначена для остаточного шліфування шатунних шийок колінчастого вала шестициліндрового двигуна, складається з шести послідовно працюючих верстатів, на кожному з яких в автоматичному циклі обробляють певну шийку. На всіх позиціях лінії всі шийки обробляють одночасно. У лінії встановлений один резервний напівавтомат. Верстати лінії з'єднані транспортером з гнучким зв'язком і забезпечені завантажувальними пристроями. Верстати мають пневматичні пристрої активного контролю, за командою якого після досягнення необхідного розміру шийки відводяться шліфувальні круги. Автоматичний цикл роботи кожного верстату лінії складається з наступних елементів: установка валу і його закріплення в патроні, прискорена і робоча подача шліфувального круга, автоматичний контроль розмірів, відведення шліфувальних кругів, знімання деталі і правка кругів.

Якщо при обробці розміри шліфованих шийок будуть відхилятися на величину більше допустимої, то верстат автоматично зупиняється, в той час як інші верстати лінії можуть продовжувати роботу. Незалежна робота верстатів дозволяє проводити зміну круга та ремонт верстата без зупинки роботи всієї лінії, у цих випадках в роботу вводиться резервний верстат. Продуктивність лінії 60 валів за 1 год. Автоматична лінія з чотирьох автоматів для шліфування шатунних шийок створена і на вітчизняному заводі у місті Харкові.

Остаточну обробку шийок колінчастого валу здійснюють суперфінішуванням, а також зовнішнім хонінгуванням з поліруванням шийок тонкою абразивною стрічкою.

Розподільчий вал є основним елементом приводу клапанів механізму газорозподілу двигуна. До нього висуваються жорсткі вимоги по точності та шорсткості робочих поверхонь: шорсткість робочих поверхонь кулачків повинна бути в межах $0,32 \dots 0,63$ мкм за параметром R_a ; опорні шийки обробляють за 6-м квалітетом точності із шорсткістю поверхні R_a $0,32 \dots 0,63$ мкм; овальність і конусність шийок не повинна перевищувати $0,01$ мм; радіальне биття опорних шийок – $0,015 \dots 0,02$ мм; неперпендикулярність опорного торця шийки до твірної не більше $0,02 - 0,03$ мм., шорсткість його поверхні R_a $1,25 \dots 0,8$ мкм.

Розподільчий вал потрібно відновлювати при наявності таких дефектів: згинання вала; риски, задири і спрацювання опорних шийок; спрацювання впускних і випускних кулачків по висоті; спрацювання шийки під розподільну шестерню; спрацювання шпонкового паза по ширині; спрацювання і зривання різьби.

Типовий технологічний процес відновлення наступний.

Спочатку проводиться відновлення центрових фасок.

Пошкоджена різьба видаляється на токарній операції (верстат токарно-гвинторізний 16К20, різець з пластиною Т15К6). Базами є центрові отвори.

Режим: глибина різання 0.8...1 мм; подача 03 мм/об; швидкість різання 52 м / хв.

Для відновлення шийок, кулачків і різьби може застосовуватися наплавлення в середовищі вуглекислого газу або вібродугове наплавлення.

Механічна обробка опорних шийок і кулачків здійснюється в три етапи: попереднє (обдирне) шліфування , остаточне шліфування, полірування .

Опорні шийки розподільних валів шліфують в центрах спеціального верстата 3А433 або на круглошліфувальних верстатах. Перед шліфуванням зенкують масляні отвори , поглиблюють масляні канали.

Зношені кулачки шліфують по копіру на верстаті 3А433 до виведення слідів зносу і відновлення профілю

Попереднє шліфування проводиться шліфувальними кругами ПП600 × 40 × 305 24А 40- П СМ1 - СМ2 6К5 . Режим: радіальна подача 0,05 мм / об ; швидкість обертання валу 30 м / хв: швидкість обертання круга 40 м / с. Шліфування шийки під шестерню проводиться аналогічно шліфуванню опорних шийок . Радіальна подача попередня 0,05 мм / об , остаточна 0,005 мм / об. При обробці шийок базами є центрові отвори , при обробці кулачків - центрові отвори і шпонковий паз.

Після попереднього шліфування проводиться правка валу. Інструмент - пневмомолоток КМП- 14М з заокругленим бойком . Режим: тиск повітря 5 кгс/см² ; частота ударів 37 ... 42 Гц ; енергія одиночного удару 2,5 ... 5,0 Дж. Число ударів залежить від розміру деформації.

На токарній операції проводиться обробка торця і фасок , нарізання та калібрування різьби. Обробка фасок ведеться різцем з пластиною Т15К6 при швидкості різання 25 ... 35 м / хв . Нарізування різьби при швидкості різання -30 м / хв. Число проходів 3 ... 5. Калібрування різьби здійснюється плашкою при швидкості різання 4 м / хв .

Остаточне шліфування опорних шийок і кулачків проводиться кругами ПП600 × 40 × 305 24А 25- П СМ1 - СМ2 5К8 . Режим: радіальна подача 0,005 мм / об ; швидкість обертання круга 35 м / с.

Після шліфування проводяться обробка фасок отворів мастильних каналів на вертикально- свердлильному верстаті 2Н125 зенківкою з пластинами Т15К6 при частоті обертання інструменту 500 об / хв .

В якості фінішної операції виконується полірування кулачків і опорних шийок, що має своєю метою забезпечити необхідну шорсткість поверхонь : для робочих поверхонь опорних шийок розподільчого валу Ra = 0,32 ... 0,25 мкм , для кулачків Ra - 0,5 ... 0,32 мкм. Полірування виконується шліфувальною шкіркою на тканинній основі (ГОСТ 5009-82 , ГОСТ 13344 - 79). В якості абразивних матеріалів застосовуються білий електрокорунд марки 24А для сталевих валів і карбід кремнію марки 62С для чавунних. Зернистість абразиву 8 ... 4 мкм. Режим полірування: швидкість стрічки 30...40 м / с. При обробці водостійкими шкурками сталевих валів в якості охолоджуючої рідини застосовується сульфозфрезол або масляна емульсія , при обробці чавунних валів - содовий розчин. При використанні неводостійкої шкурки мастильно-охолоджувальною рі-

диною служить мінеральна олива. Високу якість обробки забезпечують алмазні шкірки зернистістю від 63 до 40, що володіють високою стійкістю.

Полірування може проводитися повстяними та фетровими кругами. Абразивним матеріалом служить паста ГОІ. Колова швидкість полірувального круга 30 ... 35 м / с.

Фінішна обробка може виконуватися також методом алмазного вигладжування. При цьому відбуваються зім'яття мікронерівностей і зміна фізико-механічних властивостей поверхневого шару.

11.5. Відновлення деталей типу некруглих стрижнів

До деталей класу «некруглі стрижні» відносять шатуни, важелі і коромисла. Шатуни беруть участь у перетворенні поступального руху в обертальний, а важелі і коромисла – в передачі поступального руху.

Шатуни двигунів виготовлені із сталей 40, 45, 40Х, 45Г2, 40ХМА, 18ХНМА та ін. Матеріал втулок – бронза ОЦС 4-4-2, 5, АЖ 9-4, матеріал болтів сталь 35ХМА, 38ХА, 40Х та ін. Твердість матеріалу шатуна 228–268 НВ.

Основні пошкодження шатунів: тріщини різного характеру, непаралельність осей отворів, деформація і знос отворів кривошипної і поршневої головок, пошкодження різьби болтів і гайок. Деталі з пошкодженнями першого виду відбраковують.

Важелі і коромисла виготовляють із сталей 45, 45Л, матеріал їх втулок такий же, як і матеріал втулки шатуна. Твердість загартованого бойка коромисла становить 52 – 56 НРС. Пошкодженнями коромисел і важелів є знос отворів і бойків.

Допуск на розмір отворів головок шатуна відповідає 5-му або 6-му квалітету, на розмір між осями цих отворів – 9-му або 10-му квалітету і на паралельність їх осей – 8-му або 9-му ступеню точності. Шорсткість відновлених поверхонь отворів і бойків $R_a = 0,16$.

Ремонтні заготовки відновлюваних деталей отримують нанесенням електрохімічних або газотермічних покриттів на поверхні отворів і запресуванням нових втулок в отвори.

Механічна обробка отворів полягає в хонінгуванні отворів нижньої головки і розточуванні отворів у втулці верхньої головки.

Нормативну точність параметрів розташування основних поверхонь забезпечує механічна обробка шатуна в такій послідовності. Отвір у кривошипній голівці з нанесеним покриттям дворазово хонінгують з орієнтуванням інструменту по оброблюваній поверхні, що забезпечує зняття найменшого припуску. Заготовку 3 (рис. 11.8) при розточуванні отворів під поршневий палець встановлюють на оправку 4, робочий торець якої перпендикулярний до опорної циліндричної поверхні. Заготовку з оправкою 4 орієнтують щодо шпинделя 1 за допомогою центральної оправки 2 і в такому положенні деталі до неї і оправки 4 прикладають сили закріплення P'_3 і P''_3 . Виводять оправку 2 з отвору заготовки і його поверхню розточують за рахунок обертання шпинделя 1 з різцями з кутовою частотою обертання $\omega = 3000 \text{ хв}^{-1}$ і подачею $S = 0,05 \text{ мм/об}$.

12. Сучасні технології при відновленні типових деталей автомобіля

12.1 Відновлення колінчастих валів

Фірма JUNKER розробила шліфувальні верстати JUCRANK для повної обробки колінчастих валів (рис.12.1). Можлива обробка валів для всіх типів двигунів – від одно- до дванадцятициліндрових.

В залежності від способу обробки і величини припуску для окремих верстатів JUCRANK індивідуально розраховуються і поставляються різні варіанти платформ і шліфувальних бабок.

Верстати можуть виконувати майже всі завдання шліфування при обробці колінчастих валів. За одне закріплення може проводитись шліфування корінних (циліндричних випуклих і увігнутих) і шатунних (циліндричних, сферичних, випуклих і увігнутих) шийок.



Рис.12.1. Типи шліфувальних верстатів JUCRANK

Обробка проводиться маятниковим шліфуванням кругом із надтвердого матеріалу – кубічного нітриду бору (рис.12.2). Чорнове і чистове шліфування здійснюється при одному закріпленні.

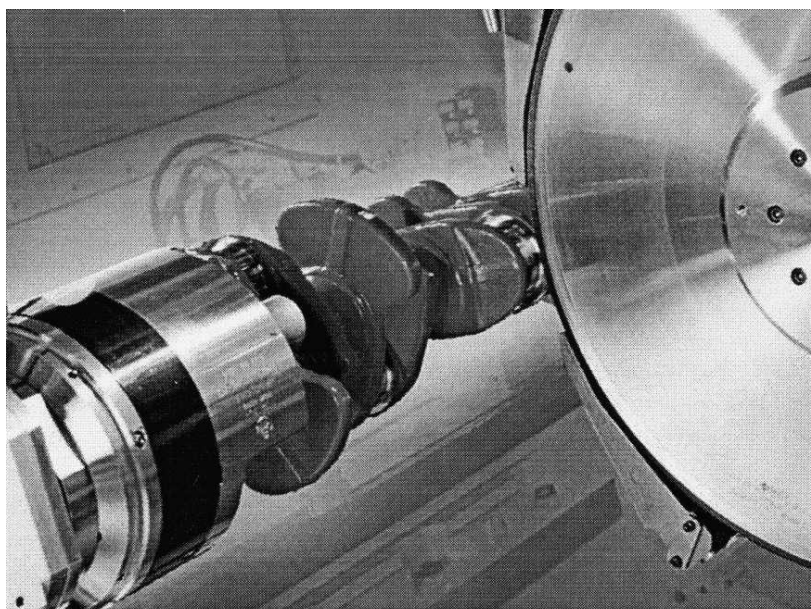
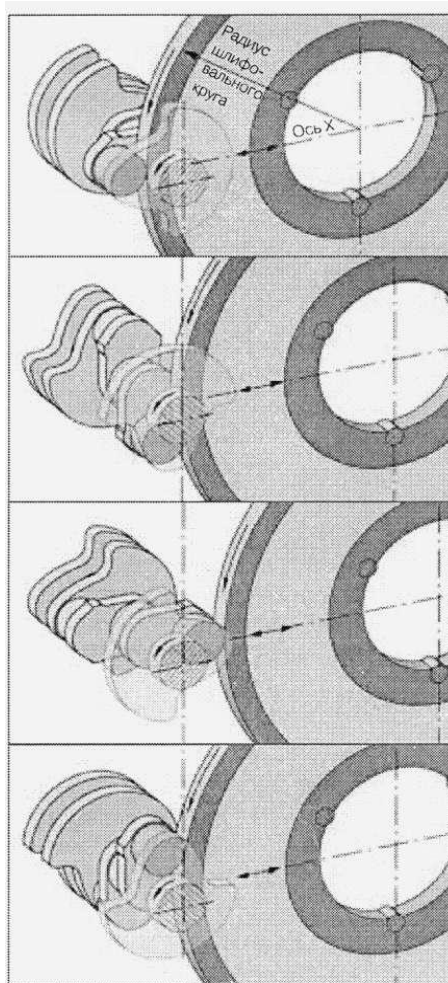


Рис. 12.2. Маятникове шліфування кругами із кубічного нітриду бору: шліфувальний круг здійснює переміщення в горизонтальній площині, слідуючи за обертанням шатунної шийки

Додатково технологічно можлива майже люба комбінація з іншими способами абразивної обробки. В залежності від комбінації типів верстатів може проводитись обробка фіксувальних буртиків, фланців і цапф на інших верстатах фірми JUNKER.

Економічними перевагами запропонованого методу обробки на даних верстатах є:

- універсальність застосування для різних колінчастих валів за рахунок переналагодження систем із ЧПК;
- висока гнучкість при обробці корінних і шатунних шийок за рахунок застосування маятникового шліфування;
- економія часу при повній обробці за рахунок виключення операції перезакріплення;
- висока продуктивність завдяки застосування інструменту із кубічного нітриду бору з охолодженням оливою колінчастих валів;
- високоефективне обладнання і спосіб правки кругів ;
- висока точність оброблених поверхонь завдяки контролю під час обробки;
- висока точність завдяки відсутності перезакріплення.

Технічні переваги:

- вимірювання і корегування відхилення від округлості і розміру під час обробки;
- система управління з «функцією навчання,» що включає автоматичну компенсацію відхилення від округлості і збурювальних дій (температури, механічного і динамічного впливу, коливання припусків, зміни властивостей матеріалу і його структури, абразивних властивостей шліфувального круга, ступеню зносу верстату);
- принцип шліфування корінних і шатунних шийок при одному закріпленні без переустановлення теоретично зводить похибку до нуля;
- врізне і маятникове шліфування;
- підтримування заготовки за корінну шийку за допомогою трьохточкового люнету;
- система охолодження, що управляється ЧПК і подає охолоджувальну рідину точно в зону обробки;
- висока і довготривала точність за рахунок гідростатичних круглих напрямних;
- шліфувальна бабка має автоматичну систему динамічного балансування;
- можливість високошвидкісного шліфування (до 140м/с);
- бабка виробу з гідравлічним затисканням.

12.2 Відновлення розподільчих валів

Фірмою JUNKER розроблені сучасні верстати серії JUCAM з ЧПК для круглого шліфування, призначені для повної обробки розподільних валів за одне установа.

Гамма типів верстатів охоплює всі форми кулачків (рис. 12.3):

- циліндричні;
- опуклі / увігнуті;
- з фаскою і без фаски;
- з заокругленням і без заокруглення;
- з дотичною площиною;
- полігональні та еліптичні.

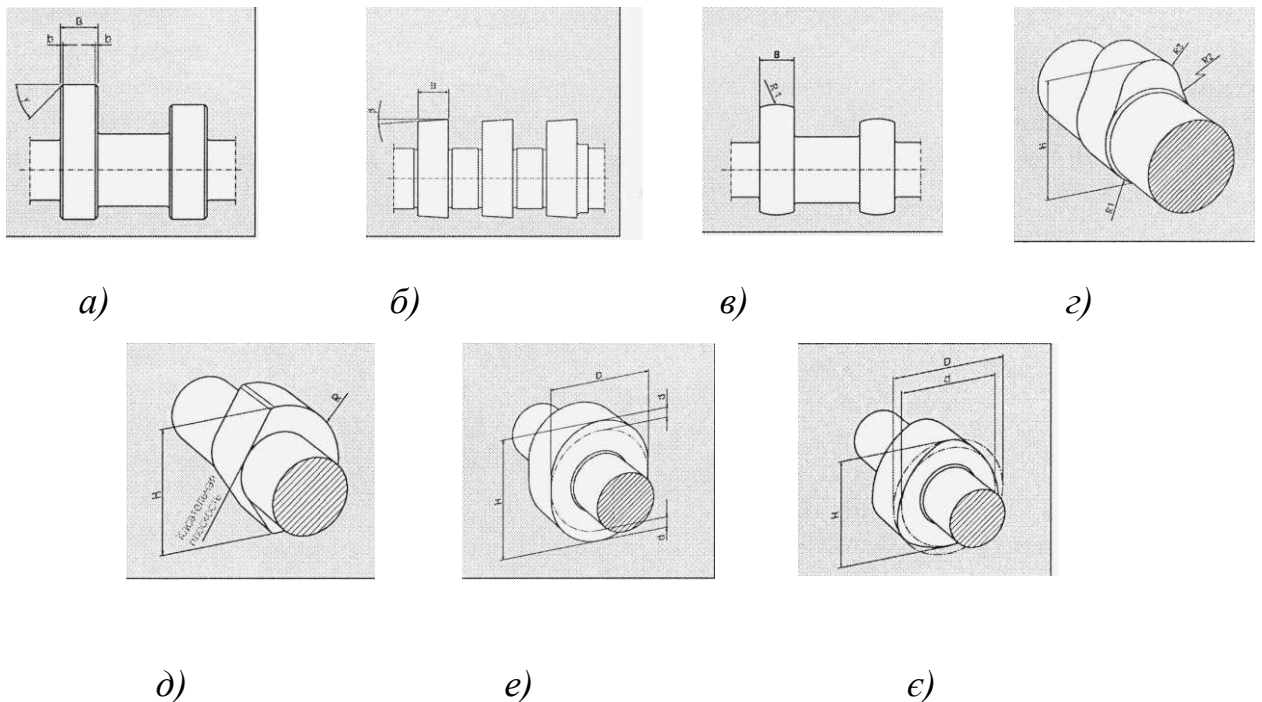


Рис. 12.3 – Форми кулачків:

а) – циліндрична із фаскою чи без фаски; б) – конічна форма; в) – з опуклою поверхнею; г) – із ввігнутою поверхнею; д) – з дотичною площиною; е) – еліптична форма; є) – полігональна форма

Залежно від способу обробки і необхідної продуктивності для окремих платформ типу JUCAM розробляються і встановлюються різні варіанти шліфувальних бабок. Чорнове та чистове шліфування здійснюється при одному закріпленні. На верстатах може проводитися обробка кулачків, опорних шийок, торців, заплічок опорних підшипників і посадочних місць розподільчих валів. Застосування шліфувальних кругів на основі кубічного нітриту бору дозволяє здійснювати як чорнову, так і чистову обробку.

Універсальність забезпечується за рахунок переналадження програми ЧПК, а висока гнучкість при шліфуванні кулачків і опорних шийок завдяки застосуванню маятникового способу шліфування.

Принцип шліфування кулачків і опорних шийок при одному закріпленні теоретично зводить похибку до нуля.

12.3 Відновлення деталей типу ступінчастих валів та осей

Фірма JUNKER розробила універсальну та високопродуктивну технологію QUICKPOINT і обладнання, які використовуються при відновленні різних деталей типу ступінчасті вали та осі (рис.12.4).

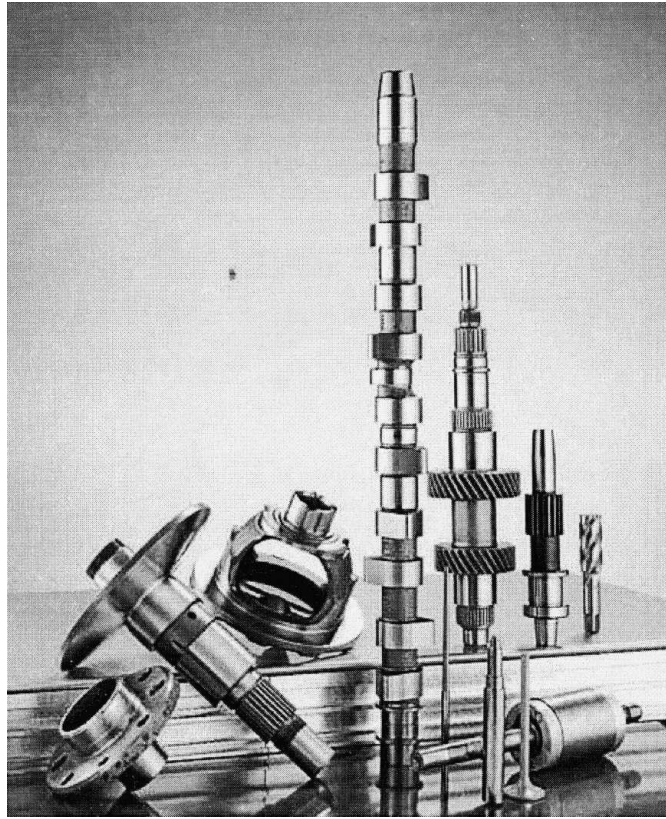


Рис.12.4. Типи оброблюваних деталей

QUICKPOINT - це високошвидкісне кругле шліфування з точковим контактом шліфувального круга і оброблюваної деталі. При цьому використовуються надзвичайно зносостійкі шліфувальні круги товщиною в кілька міліметрів на основі кубічного нітриду бору або алмазу. Завдяки нахилу осі шліфувального круга щодо горизонтальної осі деталі утворюється вільний кут, і зона контакту між шліфувальним кругом і деталлю скорочується з лінії до точки (рис.12.5).

Великою перевагою технології QUICKPOINT є універсальність і одночасно висока продуктивність. На відміну від звичайної технології, зокрема, при шліфуванні твердих сплавів, QUICKPOINT дозволяє збільшити продуктивність до 600%.

Повна обробка деталей здійснюється при одному закріпленні. Можливості верстатів QUICKPOINT можуть бути розширені за рахунок застосування мо-

дифікованих шліфувальних модулів фірми JUNKER з декількома шліфувальними кругами для повної обробки. Завдяки цьому може проводитися шліфування різьби, врізне профільне і кругле шліфування при одному закріпленні.

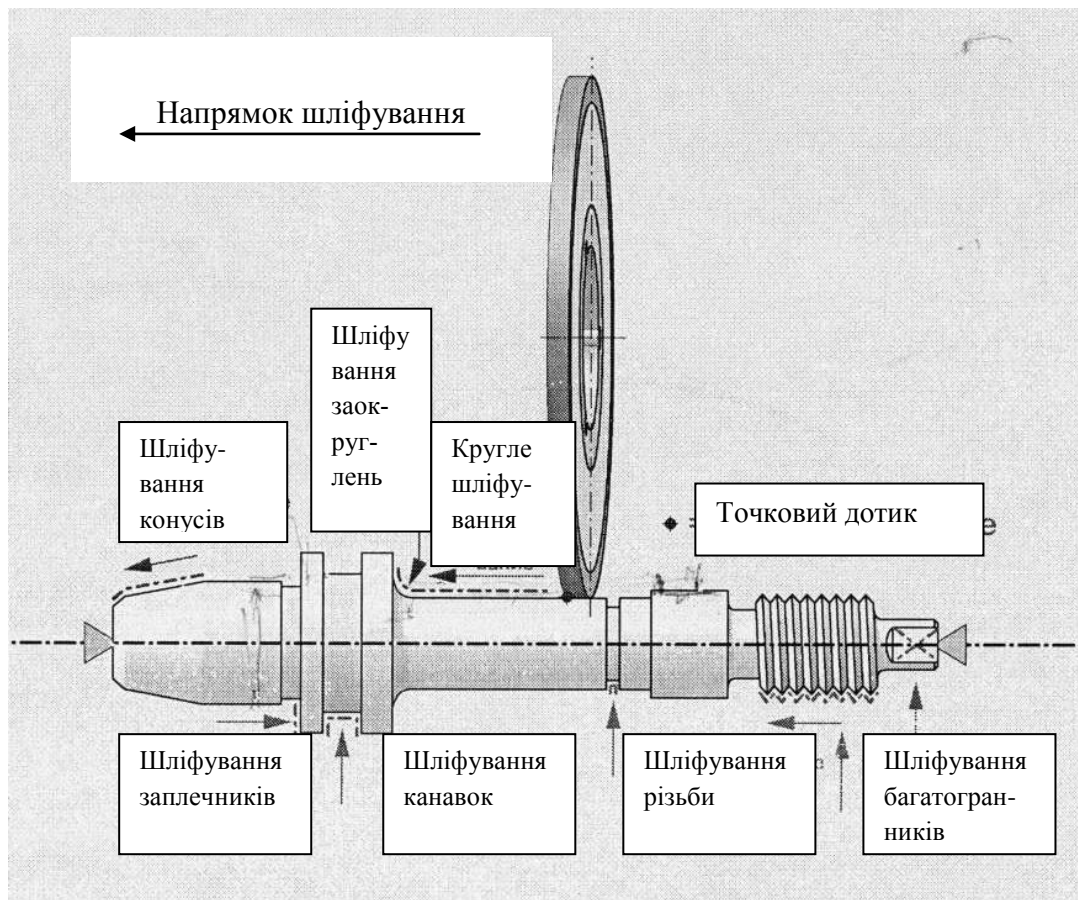


Рис. 12.5. Технологія QUICKPOINT

Економічні переваги способу:

- значна економія капіталовкладень за рахунок скорочення виробничих циклів: можливо шліфування майже всіх контурів деталі одним шліфувальним кругом при одному закріпленні;
- безпосереднє зчитування контуру деталі програмним способом;
- коефіцієнт використання обладнання досягає 88-95%, тобто на 3-8% вище, ніж при звичайних способах шліфування;
- висока продуктивність за рахунок заключної обробки при одному закріпленні;
- спрощення логістики: немає перезакріплення, обробка проводиться тільки на одному верстаті;
- низькі витрати на інструменти завдяки великому терміну їх служби;
- висока надійність виробництва і гнучкість, оскільки замість обробної лінії використовується єдиний верстат;
- малий час переналагодження верстату.

Технічні переваги способу:

- висока гнучкість: можливість шліфування заплічників, конусів, фасок, виточок, проточок, площин і багатогранників;
- високі швидкості обробки за рахунок покращення умов охолодження в точці шліфування;
- підвищення якості за рахунок повної обробки при одному закріпленні;
- повна обробка деталі, включаючи торцеві поверхні (оскільки обробка проводиться без поводка);
- висока якість поверхні.

Серія верстатів QUICKPOINT включає три типи і п'ять різних комбінацій шліфувальних бабок, пропонує рішення практично будь-яких завдань для круглого шліфування: від компактного QUICKPOINT 1000 для дрібних деталей широкого асортименту до QUICKPOINT 5000 для серійного виробництва (рис. 12.6).

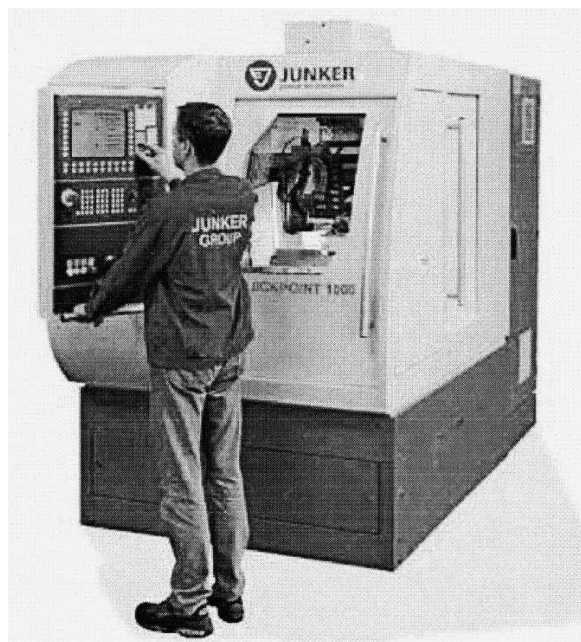


Рис.12.6. Верстат серії QUICKPOINT

Станина верстату виготовлена методом мінерального лиття і ефективно поглинає вібрації, має високу жорсткість, головні вісі X і Z розташовані безпосередньо на станині верстата.

Швидке переналагодження для скорочення допоміжного часу здійснюється за допомогою 3-точкової системи кріплення. Ця система застосовується на шліфувальній бабці, бабці виробу і на задній бабці, що значно скорочує час наладки шліфувального верстата.

Прецизійна і швидка правка визначає економічність верстата, на якому застосовуються шліфувальні круги на основі кубічного нітриту бору або алмазу.

Верстати мають до трьох високошвидкісних шліфувальних шпинделів зі швидкістю шліфування до 140 м / с та автоматичну систему динамічного балансування.

12.4 Безцентрове кругле шліфування

Шліфування по методу JUPITER, запропоноване фірмою JUNKER - це безцентрове кругле шліфування, з використанням кругів із кубічного нітриду бору. Поєднання методів без центрального круглого шліфування із застосуванням кругів із кубічного нітриду бору привносить великі переваги за рахунок стійкості круга особливо в масовому виробництві. Крім того, одночасно відбувається знімання шару матеріалу по всій ширині деталі, що в процесі серійного виробництва забезпечує значне скорочення часу обробки.

При безцентровому круглому шліфуванні одночасно обробляється і проводиться бічна поверхня деталі: лінійний контакт одного шліфувального круга утворює лінію шліфування, при цьому оброблювана деталь прилягає до подаючого круга і утримується знизу опорним ножем. Під час шліфування центр оброблюваної деталі опускається вниз, тому що її діаметр зменшується в результаті знімання шару метала. При цьому оброблювана деталь переміщається до подаючого круга. Система електронного керування верстату компенсує цю зміну положення за допомогою відповідного супроводу шліфувального круга таким чином, щоб у будь-який час була забезпечена точність обробки. Для деталей, які з урахуванням своєї форми або невеликого розміру можуть бути закріплені лише з великими труднощами, безцентрове кругле шліфування є ідеальним рішенням проблеми. Схема шліфування наведена на рис. 12.7.

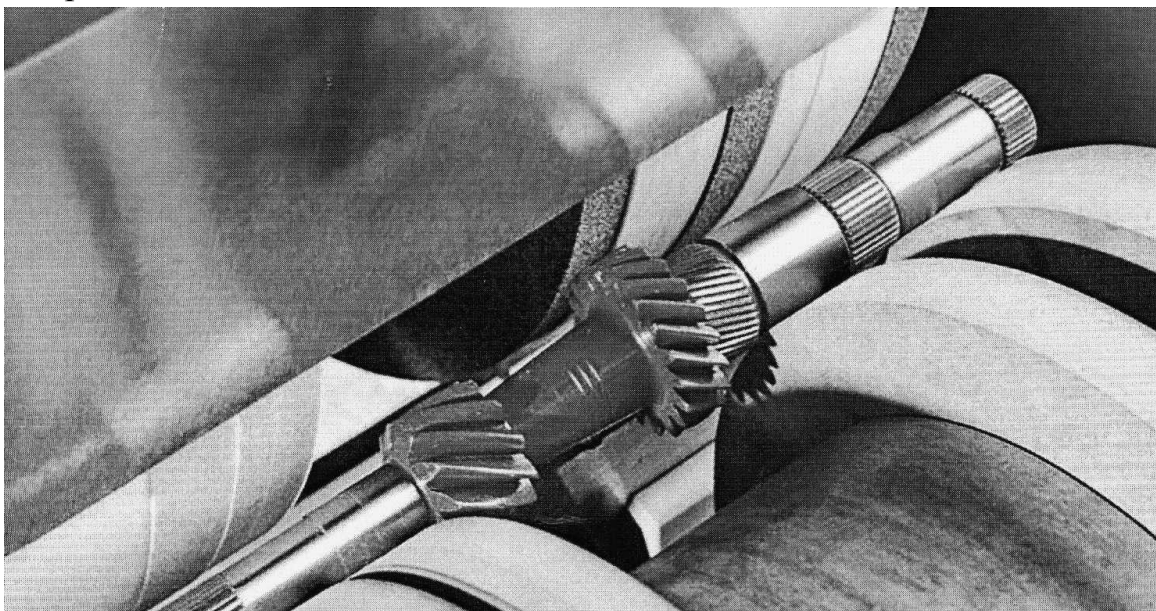


Рис. 12.7. Безцентрове шліфування

Шліфування може здійснюватись на прохід і методом врізного шліфування.

Методом безцентрального круглого шліфування з меншими затратами є шліфування на прохід. При цьому оброблювані деталі проходять через верстат

безперервно, причому всі деталі мають єдиний діаметр. Осьове зусилля подаючого круга, як правило, нахиленого на $1,5 - 3,5^\circ$, «протягує» потік деталей між кругами до кінця шліфувального елемента. Деталі в поєднанні з автоматичним завантаженням і вивантаженням проходять через верстат безперервно (рис. 12.8).

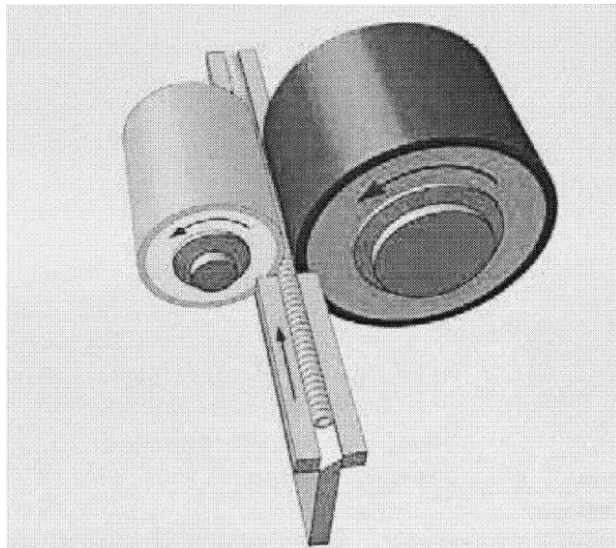


Рис. 12.8. Шліфування на прохід

Області застосування шліфування на прохід: болти і корпуси підшипників; кільця великих та малих розмірів, поршні та поршневі пальці, вали та вісі, поршневі штоки (наприклад, для амортизаторів), поршні малих розмірів для гідравліки і інжекторів.

При врізному шліфування шліфувальний і подаючий круги мають більшу ширину, ніж оброблювана поверхня деталі. Цим способом можна одночасно обробляти всі шліфовані діаметри деталі. При цьому осьовий упір на профільованому опорному ножі забезпечує правильне положення оброблюваної деталі (рис. 12.9).

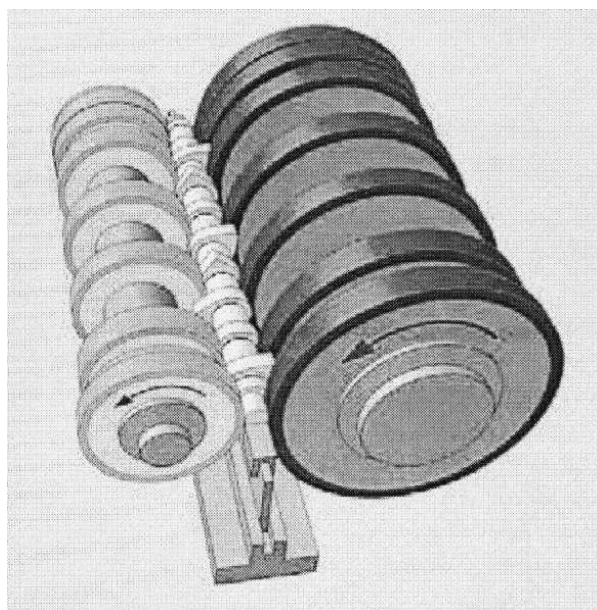


Рис. 12.9. Врізне шліфування

Врізне шліфування є економічним лише для великих серій, тому що витрати на переобладнання, пов'язане зі зміною і правкою обох кругів, а також зміною опорного ножа є відносно високими. Однак фірма JUNKER пропонує ефективну концепцію переобладнання, яка значно скорочує час за рахунок автоматизованої зміни шліфувального шпинделя і опорних ножів з гідравлічним кріпленням. Завантаження і розвантаження здійснюється, наприклад, зверху через вбудований портал.

Області застосування врізного шліфування: вали роторів, деталі редукторів, опорні поверхні розподільчих валів, патрубки для розподільчих валів, карданні шарніри з хрестовиною, голки для інжекторів, стрижні клапанів, сферичні ролики.

Технічні та економічні переваги методу:

- висока продуктивність знімання металу;
- одночасне шліфування декількох діаметрів (при врізному шліфуванні);
- автоматичне завантаження і розвантаження за допомогою вбудованої системи при врізному шліфуванні;
- автоматичне проходження потоку оброблюваних деталей при шліфуванні на прохід;
- висока продуктивність за рахунок використання шліфувальних кругів з кубічного нітриду бору;
- ефективний метод і обладнання для правки.
- сучасна система ЧПК.

Всі вказані переваги поєднані в верстатах для безцентрового шліфування фірми JUNKER (рис.12.10).

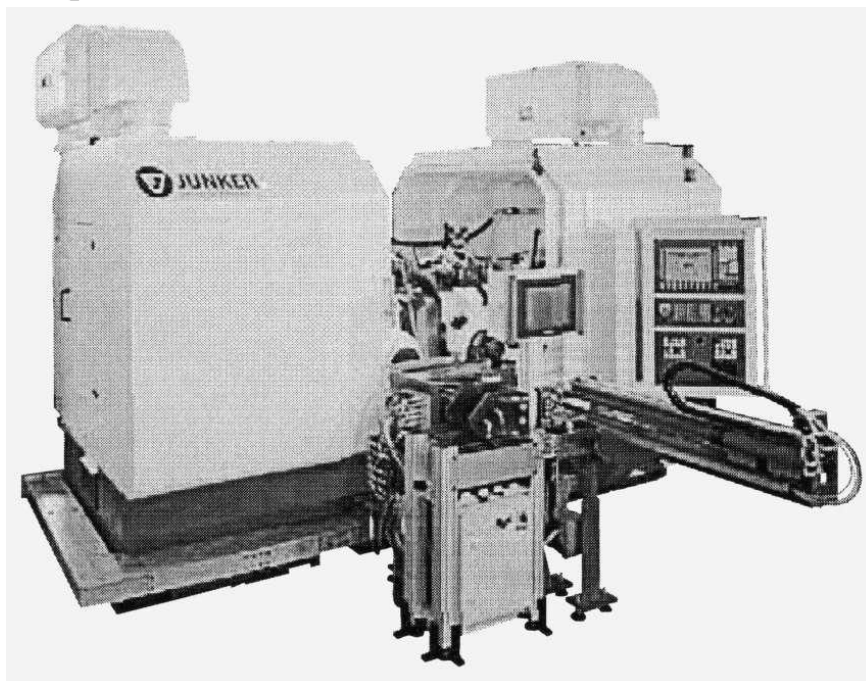


Рис. 12.10. Верстат для без центрального шліфування

12.5 Двостороннє торцеве шліфування

Ряд деталей автомобілів шатуни, клапани двигунів, компресорів, анкерні диски, гальмівні диски, поршневі пальці, кулачки, корпуси підшипників, шестерні, пружини і т.п. потребують точної обробки торцевих поверхонь.

У верстатах для торцевого шліфування здвоєними шліфувальними кругами SATURN два вертикальних шліфувальних круги обробляють паралельні зовнішні сторони деталі одночасно. Шліфувальні круги встановлені один проти одного під невеликим конусом, тому деталь, що шліфується, рухаючись зверху вниз, отримує свої остаточні розміри лише в нижній частині шляху шліфування. Так як деталі проводяться між шліфувальними кругами вертикально, вага деталі на результат шліфування не впливає. Крім того, мастильно-охолоджувальна рідина може просто стікати вниз разом зі знятим матеріалом. Подача деталей на верстатах може здійснюватись трьома способами.

1. Ротаційний спосіб.

У верстаті торцевого шліфування здвоєними шліфувальними кругами з ротаційним способом роботи закритий чи відкритий диск з отворами проводить оброблювані деталі між шліфувальними кругами і направляючими пластинами, автоматична установка яких проводиться системою управління. Цей спосіб проводки з ротаційними тримачем оброблюваних деталей призначений також для різноманітних форм оброблюваних деталей, в т.ч. для циліндричних або прямокутних елементів. Для таких дрібних деталей, як деталі поршнів, голки, втулки і т.п. з діаметром 2-8 мм можна навіть реалізувати розрахунковий такт 450 деталей в хвилину.

Ротаційний спосіб відрізняється високою точністю і продуктивністю, він використовується в 90% всіх випадків.

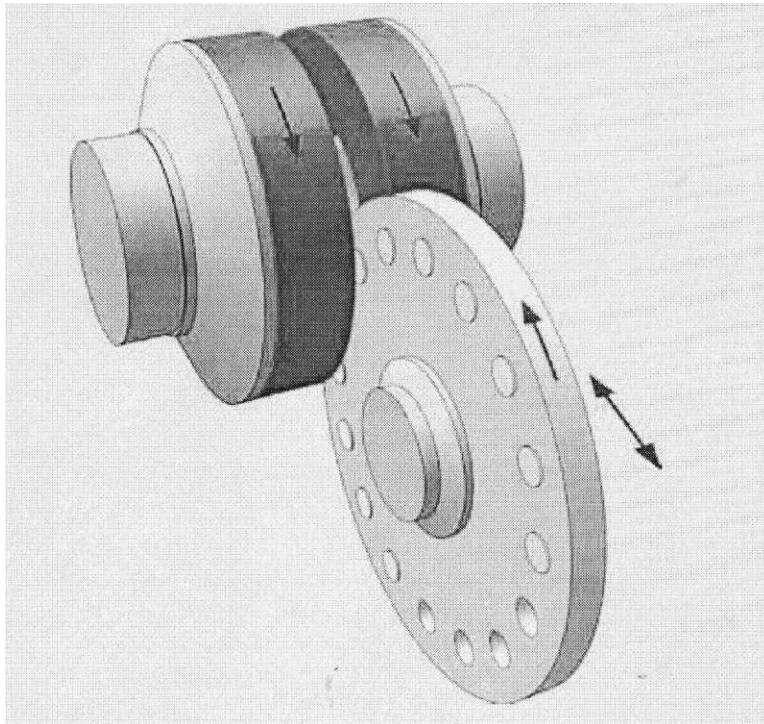


Рис. 12.11. Ротаційний спосіб обробки

2. Шліфування з прямолінійним рухом оброблюваних заготовок.

Торцеве шліфування здвоєними шліфувальними кругами з прямолінійним рухом оброблюваних заготовок - це високопродуктивний метод шліфування таких обертально-симетричних деталей, як кільця підшипників кочення, поршневі пальці і т.п. Між двома похилими напрямними оброблювані деталі проводяться між шліфувальними кругами.

Області застосування методу: кільця підшипників кочення; кільця сідел клапанів, диски зчеплення.

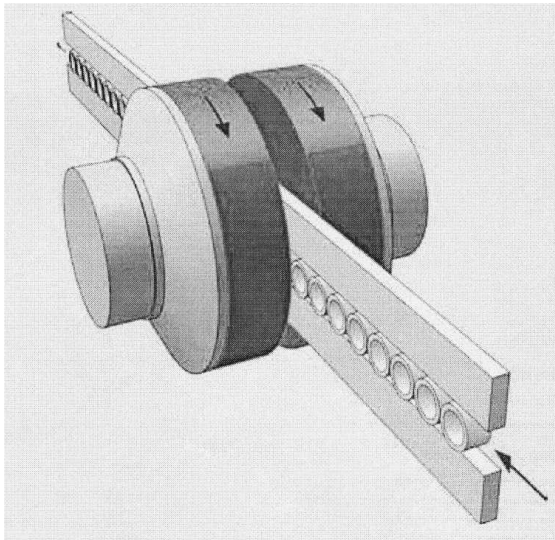


Рис. 12.12. Шліфування з прямолінійним рухом оброблюваних заготовок

3. Маятникове шліфування.

Для довільних контурів оброблюваних деталей принцип багатоступінчастого врізного шліфування в процесі маятникового шліфування пропонує таке рішення: маятниковий утримувач заготовок розгойдується між шліфувальними кругами. Ця технологія застосовується, в основному, для обробки великогабаритних деталей

Області застосування методу маятникового шліфування: шатуни, різні ковані або литі деталі, масивні спечені деталі.

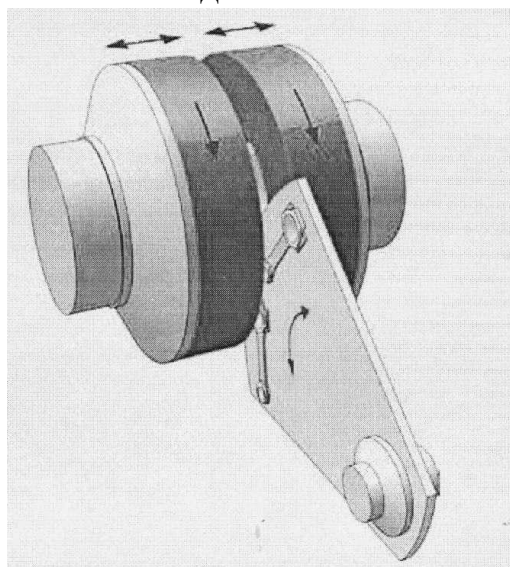


Рис. 12.13 Маятникове шліфування

Верстати торцевого шліфування здвоєними шліфувальними кругами SATURN призначені для обробки деталей розміром 5-200 мм. Їх конструкція поєднує сучасний досвід техніки шліфування і багаторічний практичний досвід фірми JUNKER і тому ідеально відповідає всім вимогам до продуктивності й зручності керування. Швидкість процесів забезпечує високу ефективність великосерійного виробництва. Для малосерійного виробництва низькі витрати часу на переобладнання за рахунок простої заміни подаючого диска є додатковою перевагою. Шліфування можна здійснювати звичайними шліфувальними кругами або з кубічного нітриду бору. Це дозволяє проводити обробку м'яких, швидкорізальних, інструментальних сталей, а також шліфування твердих металів, кераміки, фериту та інших спечених матеріалів.

Переваги верстатів:

- висока швидкість проходження деталей через зону обробки;
- можливість обробки дрібних деталей, кріплення яких ускладнено;
- автоматичне завантаження і вивантаження;
- автоматична проводка оброблюваних деталей;
- висока продуктивність за рахунок використання шліфувальних кругів з кубічного нітриду бору;
- одночасне та однопрохідне шліфування відразу двох торців деталей;
- сполучення в часі процесу обробки та завантаження;
- сучасні системи ЧПК;
- ефективні стаціонарні системи правки шліфувальних кругів;
- система вимірювання розмірів деталей після обробки.

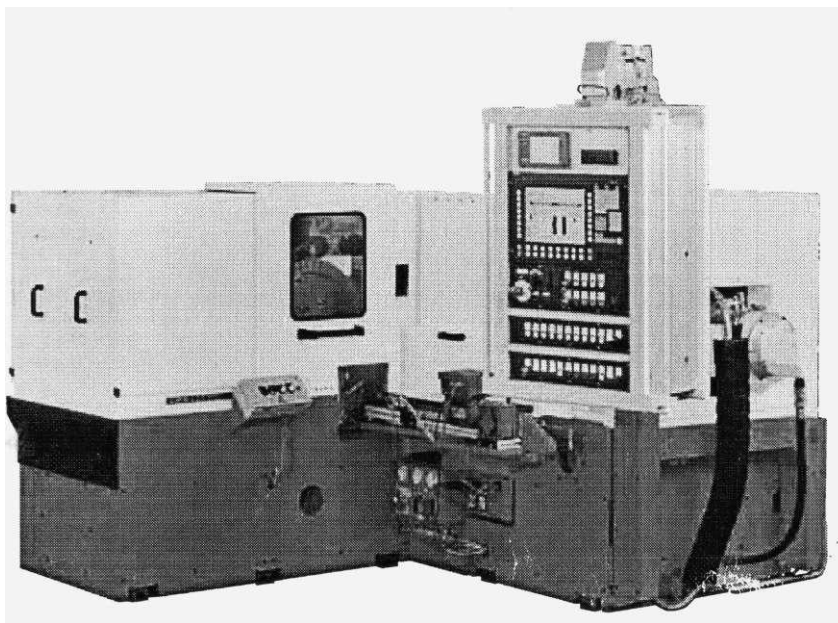


Рис.12.14. Верстат торцевого шліфування із спареними шліфувальними кругами марки SATURN

ЛІТЕРАТУРА

1. Ярошевич В.К., Савич А.С., Иванов В.П. Технология производства и ремонта автомобилей: Учеб. пособие. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2008. –640с.
2. Чередніков О.М. Технологічні основи ремонту машин і відновлення деталей: Навчальний посібник.– Чернігів:ЧДТУ, 2008. – 212с.
3. Молодык Н.В., Зенкин А.С. Восстановление деталей машин. Справочник.– М.: Машиностроение, 1989. –480с.
4. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів: Технологія: Підручник. –К.: Вища школа, 2007. –527с.
5. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: організація і управління: Підручник. –К.:Знання-Прес, 2004 –478с.
6. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. Часть1. Изд. 2-е. М.: Машиностроение, 1974.-416с.
7. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. Часть2. Изд. 2-е. М.: Машиностроение, 1974.-200с.
8. Справочник технолога-машиностроителя. Т2. Под ред. А.Н. Малова /В.Н. Гриднев, В.В. Досчатов, В.С. Замалин и др. М.6 Машиностроение, 1972. - 568с.
9. Сидоров А.И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой. – М.: Машиностроение; 1987. – 192с.
10. Аскинази Б.М. Упрочнение и восстановление деталей электромеханической обработкой.– М.: Машиностроение, 1988. – 164с.
11. Иванов В.П., Ярошевич В.К., Савич А.С., Ремонт автомобилей: Учеб. пособие.– Минск: Выш. шк., 2009. – 383с.
12. Воловик Е.Л. Справочник по восстановлению деталей. –М.: Колос, 1981. –351с.
13. Иващенко Н.И. Технология ремонта автомобилей. –К.: Вища школа, 1977. –360с.
14. Молодык Н.В., Лангрет Б.А., Бредун А.К., Восстановление деталей машин. К.:Урожай, 1985. –160с.
15. Ландо С.Я. Восстановление автомобильных деталей: Учебное пособие для средних ПТУ. М.: Транспорт, 1987. –112с.
16. Капитальный ремонт автомобилей: справочник / Л.В. Дехтеринский [и др.]; под общ. Ред. Р.Е. Есенберлина. –М.: Транспорт. 1989. –335с.
17. Грабченко А.И., Кальченко В.И., Кальченко В.В. Шлифование со скрещивающимися осями инструмента и детали (Монография). – Чернигов : ЧГТУ, 2009.–356с.
18. W.A. Livesey, A. Robinson (2010). The Repair of Vehicle Bodies. ISBN-10: 0750667532.
19. James E. Duffu (2011). Auto Body Repair Technology. ISBN-10: 0750667532.