

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Центральноукраїнський національний технічний університет

КАФЕДРА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА РЕМОНТУ МАШИН

РЕМОНТ АВТОМОБІЛІВ

**Методичні вказівки до виконання практичних
занять з курсу**

для студентів спеціальності
274 “Автомобільний транспорт”,
освітньо-кваліфікаційного рівня *бакалавр*

Кропивницький, ЦНТУ 2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Центральноукраїнський національний технічний університет

КАФЕДРА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА РЕМОНТУ МАШИН

РЕМОНТ АВТОМОБІЛІВ

**Методичні вказівки до виконання практичних
занять з курсу**

для студентів спеціальності
274 “Автомобільний транспорт”,
освітньо-кваліфікаційного рівня *бакалавр*

Затверджено на засіданні кафедри експлуатації
та ремонту машин
протокол № 12 від 20.04.2022

Кропивницький, ЦНТУ 2022

Методичні вказівки до виконання практичних занять з курсу „Ремонт автомобілів” для студентів спеціальності 274 „Автомобільний транспорт” освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр. Кропивницький: ЦНТУ, 2022.- 64 с.

Укладачі: Осін Р.А.
Шепеленко І.В.
Красота М.В.

Комп'ютерний набір і верстка Р.А. Осін, М.В. Красота

© Ремонт автомобілів. Методичні вказівки до виконання практичних занять з курсу для спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» /Укл. Осін Р.А., Шепеленко І.В., Красота М.В., 2022.

© РВЛ.ЦНТУ. Комп'ютерна верстка 2022

Зміст

Практичне заняття №1

Ремонт деталей машин клейовими епоксидними композиціями

Практичне заняття №2

Відновлення деталей машин електромеханічною обробкою

Практичне заняття №3

Відновлення деталей машин електродіодними покриттями

Практичне заняття №4

Відновлення і зміцнення деталей машин поверхневим пластичним деформуванням

Практичне заняття №1
РЕМОНТ ДЕТАЛЕЙ МАШИН
КЛЕЙОВИМИ ЕПОКСИДНИМИ КОМПОЗИЦІЯМИ

Короткі теоретичні відомості

1.1. Сутність способу

Клейові композиції широко застосовуються в машинобудуванні і ремонтному виробництві. Їх використовують для забезпечення міцності і герметичності з'єднань; відновлення деталей із тріщинами і пробоїнами; склеювання пошкоджених деталей; з'єднання деталей; вирівнювання поверхонь перед фарбуванням; як захисні покриття; відновлення розмірів та геометричної форми зношених деталей; усунення задирок і подряпин у поверхнях тертя; виготовлення ремонтних деталей зі штампованих заготовок і неметалевих матеріалів.

Технологічні процеси відновлення деталей клейовими композиціями відрізняються простотою виконання операцій і не вимагають складного устаткування. Застосування клеїв допускає з'єднання однорідних і неоднорідних матеріалів, що здійснити іншими способами дуже складно. При склеюванні деталі не піддаються тепловим і силовим навантаженням.

При заміні заклепкових і болтових з'єднань клейовими композиціями відпадає необхідність у виготовленні отворів, заклепок і інших кріпильних деталей, що здешевлює і спрощує ремонт.

Композиції, виготовлені на основі епоксидних смол, здатні міцно склеювати однорідні і різнорідні метали та інші матеріали.

Клейові композиції добре заповнюють будь-яку форму, дають невелику усадку. Маса монолітна, у ній не утворюються пори, раковини, тріщини.

Затверділа композиція хімічно стійка проти води, нафтопродуктів, слабких розчинів солей, лугів, кислот, більшості розчинників і має кращі діелектричні властивості.

Сутність процесу склеювання наступна. Багато речовин, які потрапляють на поверхню різних матеріалів (металів, пластмас, дерева та ін.), щільно до них приєднуються. Це явище називається *адгезія*. Характер сил, що викликають адгезію, залежить від природи поверхонь, що склеюються та їхнього стану.

При нанесенні клею (полімеру) на поверхню металевих деталей, що склеюються, на їх границі виникає подвійний електричний шар. Це пояснюється тим, що рухомі електрони металу легко переходять у матеріал полімеру. Суміжні шари металу, втрачаючи електрони, заряджаються позитивно, а клей (полімер) отримує негативний заряд.

У дію вступають електростатичні сили — різнойменні полюси взаємно притягаються і міцно утримуються поруч. Проте електростатичні сили виявляються не у всіх матеріалах, що склеюють, і не в однаковому ступені. Коли на поверхні металу наносять шар клею, то завдяки дифузії довгі полімерні молекули проникають у тріщини, пори. Зачіпаючись за нерівності, поглиблення і шорсткості, молекули клею після його затвердіння дають міцне з'єднання. Якщо клей нанести на поверхню пластмаси, то молекули клею ніби розсовують гнучкі і довгі молекули її, проникають між молекулами, міцно зачіпаючись. Для найшвидшого проникнення

молекул у пори поверхонь, що склеюються, притискають і виконують нагрівання. Одночасне нагрівання сприяє полімеризації клею, що призводить його до затвердіння. Тісний контакт сприяє також виникненню молекулярних сил притягання, що збільшують міцність зчеплення.

1.2. Виготовлення епоксидних клейових композицій

Для виготовлення епоксидних композицій застосовуються епоксидні смоли ЭД-14, ЭД-16, ЭД-20, і ЭД-22 – в'язкі рідини, що отримують з дифенілонпропана і епіхлоргідрину. Характеристика основних марок епоксидних смол наведена в табл.1.1.

Таблиця 1.1 - Основні види епоксидних смол

Марка смоли	ГОСТ	Середня молекулярна маса	Вміст епоксидних груп, К, %
ЭД-14	ГОСТ 10587-76	540...620	13,9...15,9
ЭД-16	ГОСТ 10587-76	480...540	16...18
ЭД-20	ГОСТ 10587-76	390...430	19,9...22,0
ЭД-22	ГОСТ 10587-76	Не більше 300	21,1...23,5

Примітка: К – кількість епоксидних груп

Епоксидні смоли мають клейові властивості і є основою композиції. Найбільш поширена смола ЭД-16. Вона являє собою в'язку рідину світло-коричневого кольору. Смола ЭД-20 (ЭД-22) має меншу в'язкість і застосовується у випадках, коли необхідна більш рідка композиція для усунення тонких тріщин. Вона має більшу міцність на згин, більшу ударну в'язкість, але має і більшу усадку, що призводить до зниження міцності її зчеплення з металом.

Затверділі епоксидні смоли легко розчиняються в багатьох органічних розчинниках і мають обмежене застосування. Цінні фізико-механічні властивості епоксидної смоли одержують в затверділому стані. Затвердіння смол відбувається під дією затверджувача. Затверджувачі поділяються на два класи: затверджувачі холодного затвердіння (температура затвердіння 16...20°C) — аміни: поліетиленполіамін, етилендіамін, гексаметилентриамін, низькомолекулярні поліаміди (Л-18, Л-19, Л-20 і ін.); затверджувачі гарячого затвердіння (температура твердіння 100...200°C) — ангідриди декарбованих кислот (малеїновий, фталевий та ін.); ароматичні аміни (триетаноламін, метафенілендіамін та ін.); аміни кислот (диціандіамін).

Затверджувачі звичайно вводять безпосередньо перед використанням у строго розрахунковій кількості. У табл.1.2 наведені вагові кількості затверджувачів для епоксидної смоли ЭД-16.

Ангідриди кислот сприяють підвищенню механічної міцності, твердості і теплостійкості затверділих епоксидних смол у порівнянні зі смолами, які затвердженні поліамінами. У табл. 1.3 наведені температурні межі приготування й затвердіння епоксидних сполук різними затверджувачами.

Таблиця 1.2 - Вагова кількість затверджувачів для епоксидної смоли ЭД-16

Затверджувач	Кількість затверджувача на 100 вагових частин смоли (вагових частин)
Поліетиленполіамін	9...12,6
Гексаметилендіамін	9...13,5
Малеїновий ангідрид	27...40
Фталевий ангідрид	43...62
Діціандіамін	7...8

Пластифікатори додають у епоксидні сполуки для їхньої еластичності, тому що епоксидні смоли крихкі і не витримують вібрацій і ударів.

Рідкі пластифікатори знижують початкову в'язкість, підвищують життєздатність сполуки, полегшують введення в нього наповнювачів, знижують теплостійкість і схильність до старіння.

У табл. 1.4 наведені режими затвердіння епоксидних сполук на основі епоксидної смоли ЭД-16.

Як пластифікатори епоксидних смол використовують висококиплячі малолетючі рідини – дибутилфталат, диоксилфталат, трикрезолфосфат, низькомолекулярні поліамідні смоли (Л-18, Л-19, Л-20), що є одночасно затверджувачами.

Таблиця 1.3 - Температурні межі приготування та затвердіння епоксидних смол

Затверджувач	Температура плавлення, °С	Температурні інтервали, °С	
		суміщення	затвердіння
Поліетиленполіамін	-	20...40	20...120
Гексаметилендіамін	42	20...50	20...120
Малеїновий ангідрид	63...64	60...90	120...150
Фталевий ангідрид	131,6	110...120	120...180
Діціандіамін	200...305	200...210	180...200

Таблиця 1.4 - Режими затвердіння епоксидних композицій на основі смоли ЭД-16

Температура затвердіння, °С	Час затвердіння, год.			
	Мінімальний	Оптимальний	Мінімальний	Оптимальний
Поліетиленполіамін				
20	24	70...160		
40	8...10	45...50		
60	2...3	20...24		
80	1...1,5	5		
100	1	3		
Фталевий ангідрид				
15	20			
10	15			
5	10			
3	7			
180	0,5	1	1	3
200	-	-	0,7	1

Наповнювачі у вигляді тонкоподрібнених порошків вводять у епоксидну композицію для зниження внутрішніх напружень, які виникають унаслідок різниць коефіцієнтів лінійного розширення металу і полімеру, що викликає ослаблення клейового з'єднання. Крім того, наповнювачі зменшують усадження, поліпшують заповнення зазорів, регулюють в'язкість, електро- і теплопровідність, знижують вартість композиції. Кількість наповнювачів, яка рекомендується для приготування композицій на основі епоксидних смол, наведено в табл.1.5.

Таблиця 1.5 - Кількість наповнювачів, яка рекомендується для приготування композицій на основі епоксидних смол

Наповнювач	На 100 вагових частин епоксидної смоли, вагових частин	
	ЭД-20	ЭД-16
Залізний порошок	200	16
Графіт	80	40
Алюмінієва пудра	25	20
Бронзова пудра	130	80
Кварцева пудра	230	150
Портландцемент	200	120
Подрібнений азбест	100	85
Біла сажа	-	35
Фарфорове борошно	150	145

В табл. 1.6 і 1.7 наведені властивості затверділих сполук.

Приклади використання епоксидних смол при ремонті деталей і вузлів машин наведено в табл. 1.8.

Таблиця 1.6 - Фізико-механічні властивості основних епоксидних сполук

Склад на основі епоксидних смол	Склад, вагових частин	Межа міцності, МПа		Твердість за Брінелем	Питома ударна в'язкість, кДж/м ²	Теплостійкість за Мартенсом, °С
		На стиск	На статичний згин			
ЭД-16 Дибутилфталат Залізний порошок Поліетилен-поліамін	100 15 160 10	54...60	40...40	120...150	4,0...5,0	60
ЭД-16 Дибутилфталат Портланд-цемент Поліетилен-поліамін	100 20 120 10	45...60	30...35	110...130	1,5...3,0	50
ЭД-16 Дибутилфталат Графіт Поліетилен-поліамін	100 10 25 10	46...57	25...32	130...170	2,0...3,0	59

Продовження табл. 1.6

ЭД-16 Полефири Графіт Малеїновий ангідрид	100 10 35 40	110	46,4	130...160	4,0	68
ЭД-16 Дибутилфталат Каслин Малеїновий ангідрид	100 10 33 30	156	65,5	130...160	2,0	56
ЭД-16 Дибутилфталат Титанові білила Мелеїновий ангідрид	100 10 33 10	200	80	213	4,5	85
ЭД-16 Дибутилфталат Залізний порошок	100 10 160	80..100	50...60	220...240	5,0...6,0	60
Поліетилен- поліамин	7					
ЭД-16 Дибутилфталат Цемент-500 Поліетилен- поліамин	100 10 120 7	45...60	35...50	110...130	2,0...3,5	50

Таблиця 1.7 - Властивості смоли ЭД-16, при затвердінні аміновими і ангідридними затверджувачами

Показники	Поліетиленполіамін				Малеїновий ангідрид		Фталевий ангідрид
	Температура затвердіння				Без прискорювача	З прискорювачем (триеталонамін)	
	20	40	80	100			
Твердість за Брінелем, МПа	85...95	95...105	80...110	100	103...110	105	112...118
Теплостійкість за Мартенсом, °С	-	70...74	90...100	106	110...117	118	126...150
Межі міцності, МПа							
Статичний вигин	150	50	60...75	55	115...140	137	102...112
Стиск	130	130	130...160	-	130...150	160	125
Розтяг	56	28	31	-	60...90	82...90	-
Питома в'язкість, кДж/м ²	1...2	2...4	7...11	11	13...27	15...34	10...18
Усадка, %	0,25...0,29	-	0,5...0,7	0,5...0,9	1,6...1,8	0,7	1,7
Щільність, кг/м ³	1190	1170	1180	-	1230	1210...1213	1230

Таблиця 1.8 - Використання композицій на основі епоксидних смол при ремонті деталей і вузлів тракторів, автомобілів і сільськогосподарських машин

Склад на основі епоксидних смол	Вагові частини складу	Галузь використання	Приклади використання при ремонті машин
ЭД-16	100	Ремонт корпусних деталей, які мають тріщини до 20 мм; ремонт нерухомих спряжень, сполучень; склеювання металевих деталей	Усунення тріщин в блоках циліндрів двигунів тракторів і автомобілів в корпусах коробок зміни передач; ремонт сполучень шарикопідшипник – гніздо шарикопідшипника
Дибутилфталат	15		
Поліетилено-поліамін	8		
ЭД-16	100	Стабілізація різьбових з'єднань деталей	-
Дибутилфталат	15		
Поліетиленополіамін	8		
ЭД-16	100	Усунення тріщин в сталевих і чавунних корпусних деталях; ремонт зношених різьбових сполучень	Усунення тріщин в блоках циліндрів двигунів; усунення тріщин в корпусі коробки зміни передач
Дибутилфталат	15		
Залізний порошок	160		
ЭД-16	100	Усунення тріщин в алюмінієвих корпусних деталях; ущільнення зварних швів на алюмінієвих деталях; ремонт різьбових з'єднань алюмінієвих деталей	Ремонт алюмінієвих блоків циліндрів двигунів, які мають тріщини; усунення тріщин в нижній кришці корпуса розподільника гідросистеми трактора тощо.
Дибутилфталат	15		
Алюмінієва пудра	25		
Поліетиленополіамін	10		
ЭД-16	100	Усунення зносу поверхонь під підшипники ковзання	Ремонт зношених постель корінних підшипників двигунів СМД-14, Д-50, ЯМЗ-238НБ та інші.
Дибутилфталат	20		
Залізний порошок	20		
Поліетилено-поліамін	120		

Послідовність приготування композиції така: епоксидну смолу підігрівають у сушильній шафі до 60...80°C, у смолу вводять пластифікатор та наповнювач і ретельно перемішують, а потім вводять наповнювач і також ретельно перемішують.

Затверджувач вводять у суміш безпосередньо перед використанням композиції і ретельно перемішують її протягом п'яти хвилин. Композиція повинна використовуватися відразу після приготування, тому що термін її придатності при кімнатній температурі 20...25 хвилин.

1.3. Техніка безпеки при роботі з епоксидними смолами

1. При роботі з епоксидними смолами обов'язково користуватися гумовими рукавичками, захисними окулярами і спецодягом (нарукавниками, фартухом, халатом).

2. Зважування компонентів епоксидної композиції варто робити у витяжній шафі.

3. Склеювання необхідно виконувати поблизу вентиляційних витяжок, для того щоб газу, що утворюються, інтенсивно видалялися і не потрапляли в дихальні органи.

4. Робоче місце має бути покрито папером, який після роботи знищують.
5. Перед початком роботи з епоксидними композиціями треба змащувати руки тонким шаром мильної пасту.
6. Не доторкатися незахищеними руками до смоли, затверджувача і їхньої суміші.
7. При потраплянні на шкіру затверджувача, смоли чи їхньої суміші, потрібно вимити руки теплою водою з милом і знову натерти мильною пастою.
8. Забороняється застосовувати ацетон для миття рук від епоксидних сполук.
9. Клей слід наносити тільки металевим чи дерев'яним шпателем.
10. Відразу після закінчення роботи посуд треба відмити ацетоном від епоксидних сполук.
11. При використанні склотканин необхідно виявляти обережність, охороняти від випадкового потрапляння скловолокна на шкіру рук, в очі і дихальні шляхи.

1.4. Вплив складу композиції на зміну величини адгезії

Адгезією називається молекулярний зв'язок, що виникає між поверхнями різнорідних тіл, приведених у контакт. Питома сила чи питома робота руйнування адгезійного зв'язку є кількісною характеристикою міцності адгезійного з'єднання. Отже, про адгезію можна судити за роботою, витраченою на розрив адгезійного з'єднання. Методи вимірювання адгезії ґрунтуються на визначенні прикладеного зовнішнього зусилля, під дією якого в адгезійній сполуці виникають нормальні і тангенціальні напруження, що приводять до руйнування з'єднання. Ці методи випробування класифікуються за способом порушення адгезійного зв'язку: нерівномірний розрив, рівномірний розрив і зсув. Слід мати на увазі, що не існує методів, при яких напруження розподіляються рівномірно і являють собою зсув чи розрив в чистому виді. Така класифікація є дуже умовною. Опір, що доводиться долати при рівномірному розриванні чи зсуві, виражається в МПа.

Прийmemo, що для визначення адгезії методом зсуву (зрізу) під дією стискаючих навантажень з'єднання циліндра зі стержнем у початковій стадії з'єднання (до склеювання) у спряженні циліндр-стержень існує зазор.

Підготовка клейових композицій і зразків.

Зразками для визначення адгезії служать сталеві кільця зовнішнім діаметром - 40 мм, внутрішнім діаметром – $16 \pm 0,1$ мм, висотою $h=10$ мм і стержні діаметром $16 \pm 0,1$ мм, які мають довжину 30 мм.

Рецептура клейових композицій.

Смола епоксидна ЕД-16 - 100 вагових частин, пластифікатор дибутилфталат 10 вагових частин наповнювачів: порошок заліза змінна кількість – 0,10, 30, 75, 120 вагових частин.

Затверджувач поліетиленополіамін - 10 вагових частин.

Спосіб підготовки композиції описаний раніше. Шляхом виміру діаметрів отворів і стрижнів підібрати кільця і стрижні таким чином, щоб зазор у сполученні не перевищував 0,1 мм. Підібрані стрижні і кільця укласти в касету по три пари в одну чарунку. Оскільки кожен дослід проводиться з триразовою повторністю, то потрібно 15 пар кілець зі стрижнями. Кожна пара одного дослідів позначається однаковими цифрами (від 1 до 5).

Пронумеровані кільця і стержні ретельно очищаються від бруду та іржі, знежирюються ацетоном і ставляться з касетою у сушильну шафу, температура якої знаходиться в межах 40...50°C.

У підготовлену відповідного складу клейову композицію вводиться затверджувач і вся маса ретельно перемішується. Підготовлена композиція шпателем наноситься на внутрішню поверхню кільця і зовнішню поверхню стрижня (на стрижні на ширину кільця) і виконується з'єднання кільця зі стрижнем (рис.1.1). Всі кільця і стрижні з'єднані клейовими композиціями, встановлюються на спеціальну підставку і розміщують у сушильній шафі для затвердіння. Затвердіння проходить при температурі 100 °С протягом трьох годин.

Підготовка затверділих зразків до випробувань полягає у видаленні зайвих напливів і сортуванні їх у групи за відповідними ознаками.

Руйнування склеєних зразків виконують на гідравлічному пресі, обладнаному підставкою і надставкою. Зразок установлюється на підставку, виконується зближення головки преса із зразком і через надставку випресовується циліндричний стержень з кільця (рис.1.2).

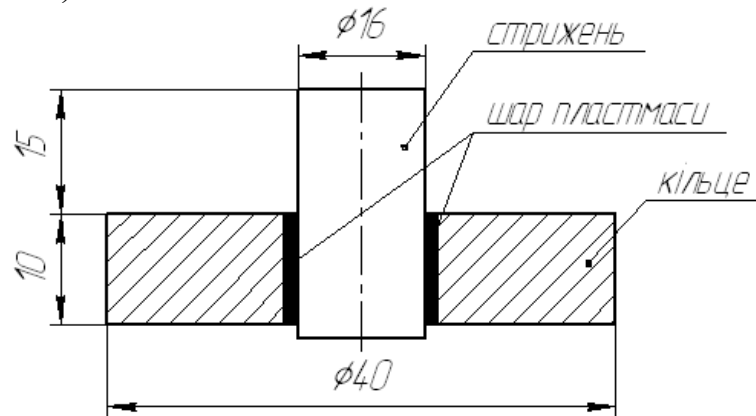


Рисунок 1.1. - Схема з'єднання кільця зі стрижнем.

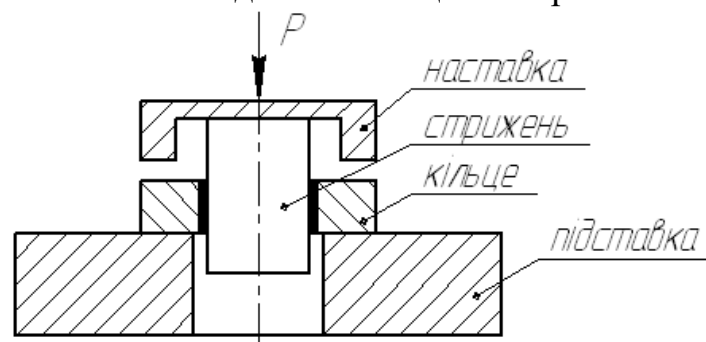


Рисунок 1.2 - Схема випресування циліндричного стрижня з кільця.

Зусилля випресування визначається за показниками манометра в момент зрушення за формулою:

$$P = \rho \cdot S,$$

де ρ - тиск, що розвивається, встановлений за манометром, кг/см²;

S - площа поршня, см².

Границя міцності при зсуві визначається за виразом

$$\sigma_3 = \frac{P}{F},$$

де F - площа, см².

За результатами випробування приймається середнє арифметичне значення трьох вимірів і будується графік зміни міцності на зрушення в залежності від складу композиції.

Таблиця 1.9 - Результати випробування

№ дослід	№ виміру	Тиск за манометром, МПа	Зусилля випресування, кГс	Площа склеювання, см ²	Границя міцності, кГс/см ²	Середнє значення границі міцності	Вид руйнування	Примітка
I	1							
	2							
	3							
II	1							
	2							
	3							

Далі, роблять аналітичний розрахунок руйнівного навантаження за формулою і порівнюють дані розрахунків з отриманими значеннями експериментів

$$P = \frac{B \cdot \pi \cdot d_k \cdot e \cdot t \cdot 10^{-2}}{At^2 + Bt + C},$$

де B - поправочний коефіцієнт, що враховує вид обробки поверхонь, що склеюються (табл.1.11);

t - величина зазору між поверхнями, що склеюються, мм;

A, B, C - постійні величини, що залежать від марки застосовуваного клею, матеріалу деталі (табл.1.10);

d_k - діаметр з'єднання мм;

e - довжина посадочної поверхні сполучення, мм.

Таблиця 1.10 - Значення величини, що залежать від марки клею

Матеріал деталей, що з'єднується	A	B	C
	Клей на основі епоксидної смоли ЕД-16		
Сталь 45	0,00677	0,00461	-0,00006
Сталь 45, чавун СЧ 15	0,00586	0,00476	-0,000008

Таблиця 1.11 - Значення поправочного коефіцієнта

Клас шорсткості поверхні	4	5	6	7
B	0,96	1,0	1,01	1,02

1.5 Зміст заняття

1. Вивчити рекомендоване устаткування, прилади, пристосування, інструменти і матеріали.
2. Вивчити технологічний процес ремонту ушкоджень склеюванням.
3. Вивчити інструкцію з техніки безпеки.
4. Виконати відновлення деталі сполукою на основі епоксидної смоли.
5. Виконати дослідження впливу сполуки композиції на зміну адгезії.
6. Зробити обробку результатів досліджень залежності адгезії від кількості наповнювача.
7. Скласти звіт про виконану роботу.

1.6. Об'єкти роботи, устаткування й інструмент

1. Верстат з витяжним зонтом.
2. Сушильна шафа для розігріву складових і затвердіння композиції.
3. Набір слюсарного інструмента: зубило, молоток, металева щітка, шабер тригранний.
4. Лабораторний посуд: колби, склянки, піпетки.
5. Компоненти для приготування клейової суміші: смола, пластифікатор, наповнювач, затверджувач.
6. Ваги лабораторні.
7. Ганчір'я, ацетон чи чистий бензин, скловолокниста тканина, шкурка шліфувальна, шпатель.
8. Рукавички гумові, фартух прогумований, окуляри захисні з прозорим склом.

1.7. Порядок виконання роботи

Загальний порядок виконання операцій наступний:

1. Зробити підготовку пробоїни.
2. Підготувати металеву накладку.
3. Приготувати сполуку на основі епоксидної смоли.
4. Заклеїти пробоїни.
5. Залишити на певний час деталь для затвердіння клейового шва.
6. Перевірити зчеплення клейової сполуки з матеріалом деталі.

Очистити деталь від забруднення. Уточнити характер дефектів, величину і розташування пробоїни. Виготовити металеву накладку з розрахунком, щоб вона перекривала границі тріщини на 15...20 мм з кожного боку. Виготовити прокладку зі склотканини з перекриттям нею сталевий накладки на 15...20 мм з кожного боку. Зачистити поверхню деталі сталеву щіткою навколо пробоїни на 15...20 мм і зробити на зачищеній поверхні насічки зубилом. Знежирити поверхню деталі ацетоном і просушити протягом п'яти хвилин до повного його випаровування.

Помістити в сушильну шафу, усередині якої підтримується температура 60...70°C, епоксидну смолу, пластифікатор (дибутилфталат), наповнювач і затверджувач (поліетиленополіамін). Одночасно в цю ж шафу помістити чашку для змішування композиції. Після прогріву епоксидної смоли до 60°C налити в чашку 30 г смоли ЕД-16. Не знімаючи чашку з вагів, додати в неї 6 г дибутилфталата, необхідну кількість наповнювача, після чого суміш перемішати до одержання однорідної маси. В приготовану суміш перед замазкою тріщини за допомогою

піпетки додати 3,5 г поліетиленполіаміну і ретельно перемішати клейову сполуку. При цьому температура сполуки від самонагрівання не повинна підвищуватися більше ніж 30...40°C.

Зробити повторне знежирення деталі і просушити її протягом 8...10 хвилин при температурі не нижче 20°C. Нанести на деталь (рис.1.3) і металеву накладку шар клейової композиції. Помістити накладку на деталь і притиснути її. Нанести шар клейової композиції на металеву накладку зверху і накладку зі склотканини. Накладку прикатують роликком, змащують зверху поверхню накладки зі склотканини клейовою композицією і залишають деталь до затвердіння композиції.

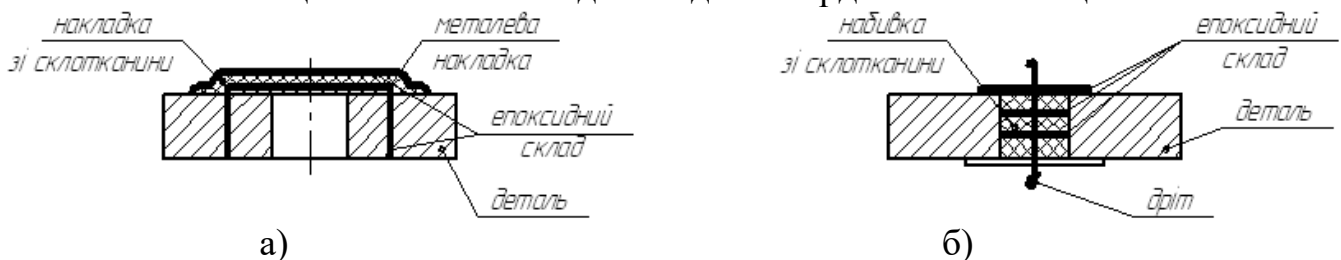


Рисунок 1.3. Усунення пробоїн у деталях: а) з напуском; б) врівень (деталі тонкостінні).

Щоб уникнути стікання клейової композиції, поверхню деталі, що покривається, розташовують горизонтально. Деталь зачищають від напливів клейової композиції. Час повного затвердіння клейової композиції залежить від температури.

Таблиця 1.12 - Час затвердіння клейових композицій в залежності від температури

Температура, °С	20	40	60	100
Час затвердіння в годинах (орієнтовно)	24	12	6	3

Провести контроль якості склеювання зовнішнім оглядом. Контроль може проводитися гідравлічним випробуванням, капілярним способом, механічними випробуваннями (вибірково).

Прибрати робоче місце і здати його лаборанту.

Скласти звіт і здати його викладачу.

1.8 Зміст звіту

1. Дані про призначення відновлюваної деталі.
2. Описання умов роботи і технології відновлення працездатності деталі за допомогою епоксидних композицій.
3. Вивчити вплив складу композицій на зміну величини адгезії

1.9. Контрольні питання

1. Для чого необхідне випарювання поліетиленполіаміна?
2. Скільки часу може зберігатися клейова суміш після введення в неї затверджувача?
3. З яких міркувань вибирається вид наповнювача?
4. Вимоги техніки безпеки при роботі з епоксидними смолами.

Практичне заняття №2

ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЮ ОБРОБКОЮ

Мета заняття:

1. Вивчити фізичну сутність електромеханічної обробки (ЕМО).
2. Одержати практичні навички по відновленню зношених деталей.
3. Визначити параметри ЕМО.

Короткі теоретичні відомості

2.1. Сутність способу

Електромеханічна обробка заснована на поєднанні термічної та силової дії на поверхневий шар деталі, що обробляється. Сутність цього способу, розробленого Б.М.Аскиназі, полягає в тому, що в процесі обробки через місце контакту інструмента з виробом проходить струм великої сили та низької напруги, внаслідок чого виступаючі гребінці поверхні піддаються сильному нагріванню, під тиском інструмента деформуються і згладжуються, а поверхневий шар металу зміцнюється.

Принципова схема електромеханічної обробки (ЕМО) показана на рис. 2.1. Від мережі напругою 220...380 В струм проходить через понижувальний трансформатор, а потім через місце контакту деталі з інструментом. Сила струму та вторинна напруга регулюються залежно від площі контакту, вихідної шорсткості поверхні та вимог до якості поверхневого шару.

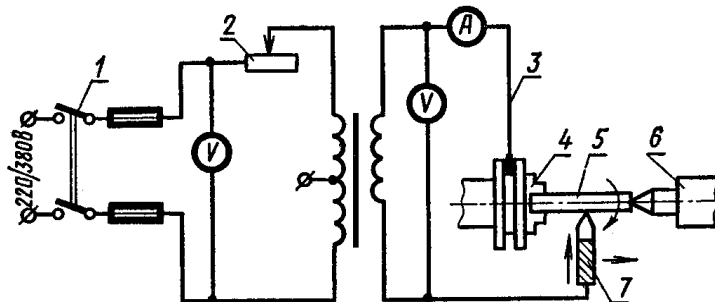


Рисунок 2.1 - Принципова схема електромеханічної обробки деталі на токарному верстаті: 1 - рубильник; 2 - реостат; 3 - вторинна обмотка; 4 - патрон; 5 - деталь; 6 - задня бабка; 7 - інструмент.

У патроні токарного верстата закріплюють струмознімач у вигляді мідного кільця. На це кільце, добре ізольованого від верстата за допомогою міднографітових щіток пристосування, подається струм 300 – 1500 А від трансформатора напругою 1-5 В. Другий контакт, від трансформатора підводить струм до державки, закріпленої у різцетримачі супорта і несучому інструменті із твёрдосплавними пластинами, що висаджують або згладжують. Державку також добре ізолюють від різцетримача супорта верстата.

При втисканні інструмента, що висаджує, деталь, яка обертається, у місці контакту виникає велика кількість тепла; локальні обсяги металу нагріваються до 800 - 900 °С, стають пластичними і деформуються.

Деформація нагрітого металу проявляється у вигляді місцевого висадження, внаслідок чого зовнішній діаметр гребенів буде більший діаметра деталі.

Потім інструмент для висадження заміняють іншим із твердосплавною пластиною, що згладжує (рис. 2.2). При пропусценні струму через контакт між пластиною і висадженими гребенями відбувається розігрівання верхньої частини гребенів, і пластина, що згладжує, деформує їх на заданий розмір.

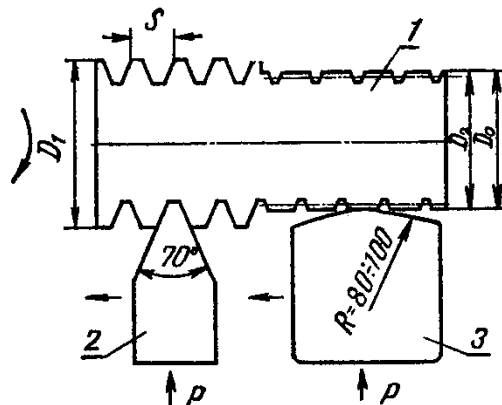


Рисунок 2.2. - Схема висадження і згладжування поверхні деталі: 1 – деталь; 2 – пластинка, що висаджує; 3 - пластинка, що згладжує; D_1 - діаметр після висадження; D_0 - діаметр після згладжування; D_2 - початковий діаметр.

Слід врахувати, що при утворенні спіральної канавки, а потім при згладжуванні її випуклих країв відбувається нагрівання дуже невеликих обсягів металу з наступним швидким їх охолодженням масою самої деталі, внаслідок чого на поверхні деталі утворюється загартований шар. Це позитивна сторона процесу.

Природно, що розглянутий спосіб не може забезпечити суцільного контакту посадкового місця вала з поверхнею підшипника або втулки, що веде до деякого зниження щільності посадки. Щоб зберегти задану посадку, можна допустити більші натяги, що не викликають деформації деталі.

ЕМО володіє цілим рядом переваг. Так, наприклад, собівартість і трудомісткість електромеханічного відновлення в 2...5 разів нижча в порівнянні з механізованими видами наплавленнями і гальванічними способами.

Принципова відмінність електромеханічного способу відновлення деталей від багатьох інших способів полягає в тому, що в процесі відновлення досягається значне підвищення фізико-механічних властивостей активного поверхневого шару деталі без додаткових операцій термічної обробки. При цьому сам процес відновлення заснований на перерозподілі матеріалу відновлюваної деталі, що забезпечує значне підвищення використання металу.

2.2 Технологія відновлення деталей і спряжень

Електромеханічний метод найбільш ефективний при відновленні шийок валів у нерухомих сполученнях; найчастіше - це сполучення валів з кільцями підшипників кочення. Посадкові поверхні валів під підшипники кочення, як правило, мають незначні зноси (величиною до 0,2 мм), які можна відновлювати електромеханічним методом без введення додаткового металу.

Схема відновлення вала показана на рис. 2.3.

На рис. 2.4 наведені геометричні параметри пластин, що висаджують і згладжують. Матеріал пластин, що висаджують і згладжують - металокерамічний твердий сплав марок ВК2, ВК3 і Т15К6.

На рис. 2.5 показана конструкція державки для закріплення робочих пластин твердого сплаву та створення зусилля висаджування та згладжування.

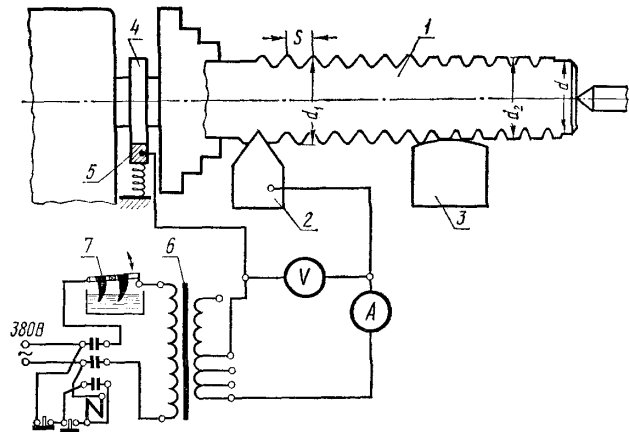


Рисунок 2.3. - Схема відновлення розмірів вала електромеханічним методом: 1 – відновлюваний вал; 2 – пластина, що висаджує; 3 - пластина, що згладжує; 4 - мідне кільце; 5 - міднографітова підпружинена щітка; 6 - трансформатор; 7 - реостат; d - розмір зношеного вала; d_1 - розмір вала по вершинах виступів після висаджування; d_2 - розмір відновленої поверхні після згладжування.

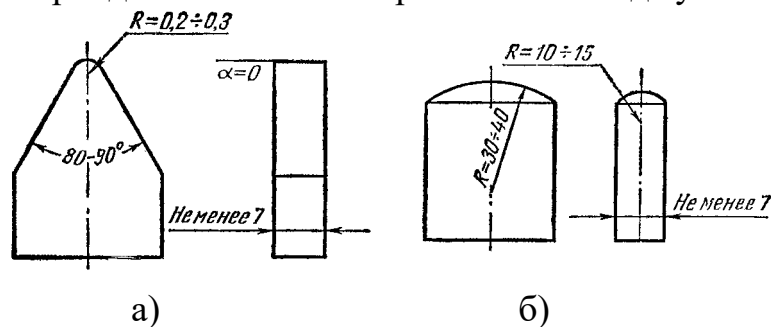


Рисунок 2.4 - Геометричні параметри пластин, що висаджують (а) і що згладжують (б).

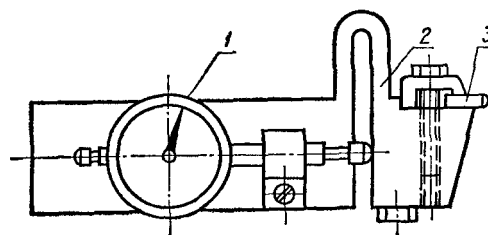


Рисунок 2.5 - Державка для закріплення пластин, що висаджують і згладжують: 1 - індикатор для установки зусилля висаджування і згладжування; 2 - державка; 3 - робоча пластина твердого сплаву.

Рекомендується такий порядок відновлення посадкової поверхні під підшипник кочення вала коробки зміни передач. Виміряти величину зношування, твердість і шорсткість посадкової поверхні, а потім установити вал на установку, підтиснувши його центром задньої бабки. Режим обробки наступний:

а) при висаджуванні - окружна швидкість обертання відновлюваної поверхні $v=1,5\div 4$ м/хв; подача $S=1,5$ мм/об; зусилля висаджування від 1200 до 1500 Н;

б) при згладжуванні $v=3\div 30$ м/хв; $S=0,2\div 0,3$ мм/об, зусилля згладжування від 600 до 800 Н.

Зношену поверхню вала спочатку обробляють пластиною (рис. 2.3), що висаджує, 2. При цьому через місце контакту пластини та деталі проходить електричний струм великої сили (від 400 до 800 А) і низької напруги (від 2 до 6 В), у результаті чого метал у зоні контакту майже миттєво нагрівається до температури близько 900° С.

Під дією радіального зусилля інструмента, що висаджує, на відновлюваній поверхні отримуються виступи, що мають форму гвинтової лінії із кроком, рівним величині подачі S . Ці виступи збільшують діаметр зношеної поверхні до розміру d_1 (рис. 2.3) більшого, ніж потрібно при відновленні.

Другим проходом, застосовуючи інструмент 3, висаджену поверхню згладжують до необхідного розміру d_2 . У напрямок осі деталі відновлена поверхня виходить переривчастою, тобто контактна поверхня відновленої шийки вала зменшується. Однак, міцність з'єднання виявляється цілком достатньою завдяки більш високій твердості отриманої поверхні, а також у результаті «шпонкового ефекту», що виникає при з'єднанні такої поверхні із гладкою поверхнею кільця підшипника.

При висаджуванні поверхні не допускається розрив ланцюга в місці контакту деталі та інструмента, тому що виникає електрична іскра, яка руйнує поверхню деталі і пластини. У таких випадках пластини твердого сплаву, що висаджують і згладжують, слід заточити заново.

Відновлення деталей середніх розмірів найкраще виконувати на установці на базі на токарного верстата 16К20 з використанням пружинних державок. При цьому слід мати на увазі, що загальна стійкість пластини з вертикальним закріпленням підвищується не тільки за рахунок збільшення її приконтактної маси, але за рахунок можливості періодичного вертикального переміщення щодо осі центра верстата. З деяким наближенням сила висадження та згладжування може бути визначена по деформації пружини за допомогою лімба установки. Для більш точного визначення сили наприкінці остова державки може бути встановлений індикатор з подовженим наконечником.

При необхідності ще більшого збільшення загальної стійкості інструмента обробний інструмент повинен мати форму ролика, що закріплюється нерухомо під час роботи та дає можливість у випадку місцевого зношування контактної поверхні періодично її повертати. Матеріалом державки може служити сталь 45 або сталь 65Г; пружна частина державки гартується до 45...48 HRC.

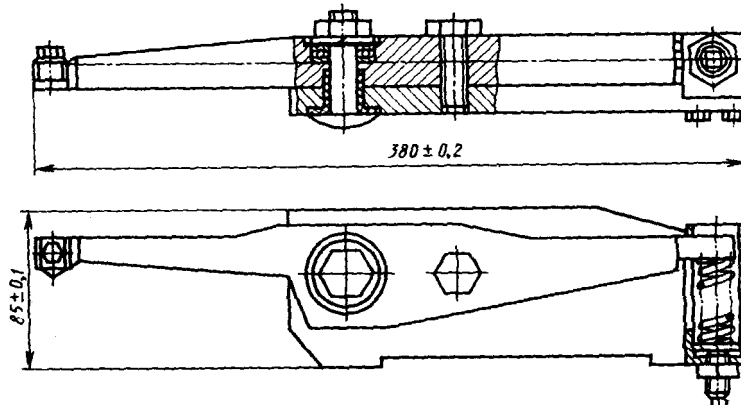


Рисунок 2.6 - Державка для відновлення розмірів внутрішніх поверхонь.

Державка для відновлення розмірів внутрішніх поверхонь показана на рис. 2.6. Принципова відмінність державок цього типу від описаних вище полягає в тому, що тиск на оброблювану поверхню передається через важіль за допомогою пружини, установленної на нерухомій основі. Ця державка може бути пристосована для закріплення на ній замість пластин роликів.

Два варіанти пластин, що висаджують, і їх установка відносно деталі наведені на рис.2.7. Варіант, показаний на рис.2.7, а, доцільно застосовувати при висадженні шийок більших діаметрів. Радіус закруглення r у пластин служить для того, щоб виключити утворення стружки при висадженні. Для обробки малих і середніх діаметрів, з метою підвищення стійкості пластин, доцільно застосовувати варіант, представлений на рис.2.7, б. Пластини, що згладжують, заточуються як звичайно, але радіус R роблять збільшеним до 60...80 мм. Можна використовувати для висадження форми пластин 11210 і 11230 із твердого сплаву Т15К6. Крім того, можуть бути пристосовані й багато інших форм пластин. Як роликові пластини можна використовувати стандартні ролики (ГОСТ 25403-82).

Заточування твердосплавних пластин проводять на заточувальному верстаті. При заточенні пластин, що висаджують, треба особливу увагу звернути на фаску при вершині; вона повинна бути не менше 0,2...0,3 мм. Заточування виконують шліфувальними колами з білого електрокорунду 40-25 СТ1 -СТ2; доведення - алмазним колом або алмазною пастою. Деякі невеликі ремонтні підприємства виконують заточення пластин вручну, а для доведення використовують пасту з карбїду бору, яка наноситься на чавунний диск, що обертається.

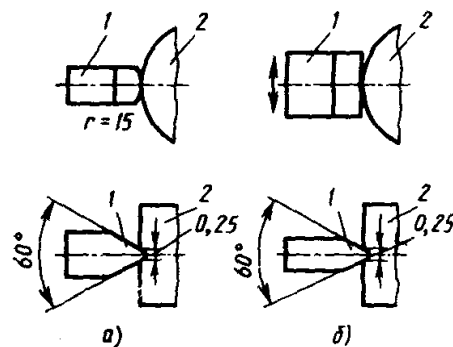


Рисунок 2.7 - Геометрія пластин, що висаджують, та їх положення відносно деталі: а - пластини товщиною до 8 мм, які встановлюються горизонтально; б - пластини, які встановлюються вертикально; 1 - пластина; 2 - деталь.

У практиці ЕМО зустрічаються деталі з переривчастими поверхнями. Так, посадкове місце підшипника кочення деяких валів зчеплення наполовину має поверхню зі шліцами. Обробка таких поверхонь неможлива звичайним способом через неминучі удари в місцях переривання поверхні, причому перерви електричного кола приводять до іскріння та псування робочої поверхні твердосплавної пластини. Було випробувано декілька варіантів пристосування. Кращі результати показала конструкція, наведена на рис. 2.8. Пристосування складається із двох основних деталей: державки 1 і пластинотримача 5. Пластинотримач може мати коливальний та осьовий рух відносно державки. Постійний контакт інструмента з оброблюваною поверхнею та плавні рухи пластинотримача щодо контуру переривчастої поверхні забезпечуються розтискними пружинами 4, які впираються в стійки 3 за допомогою напрямних 2. Робочу пластину інструмента при закріпленні встановлюють на ребро, її ширина повинна бути достатньою для того, щоб перекривати розриви оброблюваної поверхні.

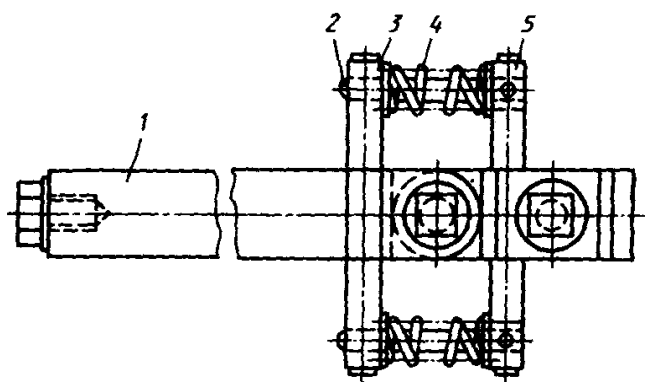


Рисунок 2.8 - Пристосування для ЕМО переривчастих поверхонь.

Як показує досвід, ця конструкція інструмента може успішно застосовуватися для обробки галтелей. При обробці переривчастих поверхонь звичайним інструментом застосовують спеціальні металеві вставки або епоксидні наповнювачі, насичені металевим порошком, які вставляються в канавки, а після обробки знімаються. Режими ЕМО, рекомендовані для відновлення посадок з натягом, наведені в табл.2.1.

Таблиця 2.1 - Режими ЕМО, що рекомендуються для відновлення посадок з натягом

Операція	I, А	v, м/хв	S, мм/об	Число робочих ходів
Висаджування деталей:				
незагартованих	450...550	3...5	-	1...2
загартованих	550...600	1,5...2,5	-	1...3
Згладжування деталей:				
незагартованих	400...450	12...15	0,3	1...2
загартованих	500...550	8...12	0,3	1...2

Висаджування за декілька робочих ходів варто виконувати за допомогою ходового гвинта, у протилежному випадку може відбуватися перерізання профілю. Число робочих ходів залежить від навичок робітника. Сила, що рекомендується при висаджуванні сирих конструкційних сталей $P=700\ldots 800$ Н; при висаджуванні загартованих сталей силу варто збільшити до $900\ldots 1200$ Н.

Подачу призначають залежно від максимальної величини висадження ΔD , що, у свою чергу, залежить від необхідного збільшення діаметра вала після згладжування ΔD_1 і умови забезпечення максимальної повноти.

При $S=1,5$ мм/об можна відновлювати основний діапазон нормально зношених деталей і лише при більших зносах варто застосовувати більші подачі при $\Delta D_{\max} = 0,55S$.

Ознаками правильності обраних режимів при виконанні всіх операцій ЕМО служить наявність темно-червоної плями в місці контакту деталі та інструмента (при силі струму 400 А в освітленому приміщенні пляма може не спостерігатися), відсутність іскріння, зняття стружки при обробці та наявність блискучої рівної поверхні після проходу інструмента. Деформація виступу при згладжуванні та досягнення заданої точності оброблюваного діаметра (матеріал 40Х, 38...42 НРС) залежить в основному від сили згладжування і числа проходів. При цьому зменшення діаметра в основному здійснюється за перші два робочих ходи, а наступні робочі ходи є доводочними. При правильному виборі тиску інструмента задана точність у межах 7-го квалітету може бути досягнута за два робочих ходи. Більш висока точність може бути отримана за рахунок додаткових робочих ходів або шляхом застосування спеціальних доводочних операцій. Без застосування наповнювачів діаметр незагартованих деталей зі сталей може бути збільшений на 0,4 мм, а діаметр загартованих деталей - на 0,2 мм. Застосовуючи наповнювачі, відновлювати ЕМО можна деталі й з більшим зношуванням. Процес відновлення може виконуватися за двома основними технологічними схемами:

контроль - висадження - згладжування - контроль; контроль - висадження - згладжування - шліфування – згладжування - контроль.

Відновлення деталей за першою схемою є найбільш раціональним і продуктивним. Другу схему варто застосовувати тільки в тому випадку, якщо не можна забезпечити задану високу точність за першою схемою. Повторне згладжування за другою схемою виконується для того, щоб забезпечити необхідну твердість поверхневого шару. Якщо при першому згладжуванні можна забезпечити глибину зміцнення, яка перевищує глибину шару, що знімається шліфуванням (з урахуванням зношування), тоді друге згладжування можна не робити.

Ремонтне підприємство повинно розробити технологічні карти на відновлення деталей ЕМО. Розробку технології варто почати зі складання номенклатурної таблиці характерних деталей, що підлягають відновленню. Всю номенклатуру характерних деталей доцільно розділити на групи залежно від діаметра, твердості матеріалу і точності сполучення. На кожен групу деталей складається типова технологічна карта.

При відновленні рухомих з'єднань необхідно дотримувати наступних основних положень.

1. Повинна бути забезпечена достатня сумарна довжина контактної поверхні (не менш 80 % від загальної довжини сполучення). Якщо після згладжування довжина контактної поверхні буде менше 80 %, то це вказує на недостатнє збільшення діаметра вала при висадженні. Причиною може бути збільшений кут профілю пластини, що висаджує, або широка фаска при її вершині.

2. Відновлювані деталі, крім гранично припустимої величини зношування 0,20 мм, не повинні мати великих відхилень від геометричної форми, зокрема, відхилення від овальності їх не повинне перевищувати $0,2 \Delta D_1$.

3. Для запобігання втрат масла по гвинтових канавках відновлених шийок по їхніх краях рекомендується утворити «запірні» кільцеві канавки.

Для ремонтних підприємств винятково важливе значення має відновлення нерухомих посадок зовнішніх кілець підшипників кочення в гніздах корпусних деталей. Відновлення цих посадок виконують шляхом зменшення діаметра гнізда досить трудомісткими операціями установки кілець. Досить міцне сполучення можна одержати шляхом електромеханічного висаджування зовнішньої обойми підшипника. В основному, це виконується приблизно так само, як при відновленні розмірів шийок осей. Обробка виконується в центрах токарного верстата, де кульковий або роликовий підшипник затискається в спеціальній оправці (рис.2.9), оснащій декількома змінними втулками та бічними кільцями залежно від номенклатури відновлюваних підшипників.

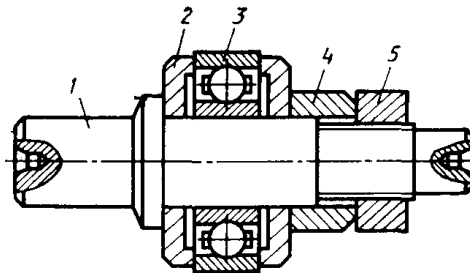


Рисунок 2.9 - Оправка для електромеханічного відновлення підшипників кочення: 1 - оправка; 2 - шайба; 3 - підшипник; 4 - втулка; 5 - гайка.

При висадженні і згладжуванні підшипникової сталі рекомендується в зону контакту інструмента і деталі подавати машинне масло. Глибина термічного впливу не перевищує 0,15...0,2 мм, що становить 3...8 % від товщини зовнішнього кільця підшипника. Використовуючи цей спосіб, треба особливу увагу звернути на овальність спрацьованого гнізда підшипника. У випадку, коли овальність разом із зазором не перевищує 0,18 мм, можна застосовувати висадження по зовнішньому кільцю зі згладжуванням. Якщо овальність разом із зазором перевищує 0,18 мм, то застосовують висадження із заповненням канавок оловом або іншими матеріалами. Так, застосування наповнювачів при відновленні сполучень типу чавунний корпус - підшипник кочення у всіх випадках забезпечує більш високу їхню зносостійкість.

При ремонті важкого устаткування часто зустрічаються підшипники кочення великого діаметра. Збільшення діаметрів підшипників вимагає дуже малої частоти обертання шпинделя верстата. Наприклад, для збільшення діаметра 210 мм роликового підшипника на 0,09 мм, установленого у вузлі маховика кривошипного преса, була потрібна частота обертання шпинделя не вище 3 хв^{-1} , яку не забезпечує

більшість верстатів. Тому доцільно спеціально для таких випадків замінювати привод на токарному верстаті.

2.3. Завдання до виконання роботи

1. Дати короткий опис фізичної сутності ЕМО.
2. Накреслити схему установки.
3. Скласти схему технологічного процесу з указанням режиму відновлення деталі.
4. Провести відновлення деталі.
5. Розрахувати час процесу, визначити твердість і шорсткість зношеної та відновленої поверхні деталі.

2.4. Об'єкти роботи, устаткування й інструмент

Установка, що складається зі зварювального трансформатора з відводом від вторинної обмотки (яка забезпечує напругу в ланцюзі установки 2-6 В), струмопідвідних мідних кабелів перетином не менш 95-120 мм², опору для регулювання величини струму (водяного реостата), токарно-гвинторізного верстата, на трикулачковий патрон якого напресоване мідне кільце товщиною 8-10 мм, підпружинених міднографітових щіток, державки для закріплення пластинки метало-керамічного твердого сплаву, текстолітових прокладок, що ізолюють, амперметра і вольтметра; штангенциркуля 125 мм; мікрометрів 0-25, 25-50; секундоміра; приладу для визначення твердості; приладу для визначення шорсткості поверхні; відновлюваної деталі.

2.5. Порядок виконання роботи

Виміряти величину зношування, твердість і шорсткість посадкової поверхні, а потім установити вал на установку, підтиснувши його центром задньої бабки. Зношену поверхню вала спочатку обробляють пластиною, що висаджує. Другим проходом, висаджену поверхню згладжують до необхідного розміру.

За секундоміром визначають час висаджування і згладжування. Варто також зафіксувати величину струму та напруги при висаджуванні і згладжуванні.

По закінченні відновлення поверхні визначають її діаметр, а також величину твердості та шорсткості поверхні.

2.6. Зміст звіту

1. Короткі теоретичні відомості.
2. Ескіз зразка з розмірами.
3. Привести схему установки.
4. Надати короткий опис фізичної суті процесу ЕМО.
5. Параметри процесу ЕМО представити за формами 1 і 2.

Форма 1

Найменування відновлюваної деталі	Діаметр зношеної поверхні, мм	Твердість (HRC) зношеної поверхні	Шорсткість поверхні	Марка твердого сплаву пластини		Сила струму, А	
				Що висаджує	Що згладжує	Висаджування	Згладжування

Форма 2

Найменування відновлюваної деталі	Напруга, В		Час процесу, хв.		Твердість (HRC) зношеної поверхні	Шорсткість поверхні	Діаметр відновлюваної поверхні, мм	Зусилля висаджування, Н	Зусилля згладжування, Н
	Висаджування	Згладжування	Висаджування	Згладжування					

2.7. Контрольні питання

1. Сутність відновлення деталей ЕМО.
2. Режими ЕМО.
3. Технологія відновлення деталей ЕМО.
4. Переваги і недоліки ЕМО.

Практичне заняття №3 ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ЕЛЕКТРОЛІТИЧНИМИ ПОКРИТТЯМИ

Мета заняття: вивчити технологічні процеси відновлення і зміцнення деталей електрохімічними і хімічними покриттями.

Короткі теоретичні відомості

3.1 Процес електролізу

Іони, що утворюються в результаті електричної дисоціації рухаються в електроліті неупорядковано, хаотично. Якщо ж в електроліт на деякій відстані один від одного помістити два струмопровідних електроди, приєднаних до джерела постійного струму, то в електроліті під дією електричного поля іони будуть рухатися направлено, і в ланцюзі виникне електричний струм (рис. 3.1). При цьому позитивно заряджені іони (іони металів і водню) переміщуються до негативного електрода - катода і тому називаються *катіонами*, негативно заряджені іони (іони металоїдів і кислотних залишків) рухаються до позитивного електрода - аноду і тому називаються *аніонами*.

Досягнувши поверхні електродів, іони розряджаються, перетворюючись у нейтральні атоми або групи атомів. При цьому на катоді виділяються метали і водень, а анод розчиняється й на його поверхні виділяється кисень. На електродах відбуваються також додаткові процеси. Так, наприклад, на катоді виникає розряд іонів водню, атоми якого частково поглинаються металевим покриттям, а частково віддаляються з поверхні катода у вигляді молекул. На катоді можливо також

неповне, а лише часткове відновлення іонів металу, наприклад відновлення тривалентного заліза до двовалентного: $Fe^{3+} + e \rightarrow Fe^{2+}$ При виділенні на аноді кисню часто окисляється анод або електроліт.

При протіканні струму через ванну у зв'язку з різним механізмом проходження його на границях розділу між провідниками першого і другого роду (електроди і електроліт) відбуваються хімічні реакції: на катоді - реакція відновлення, що зв'язує електрони, на аноді - реакція окислювання, що звільняє електрони (рис. 3.1). Хімічний процес, що протікає на електродах при проходженні через електроліт електричного струму, називається електролізом. Пристрої, у яких за рахунок зовнішньої електричної енергії відбуваються хімічні перетворення речовин (електроліз), називаються *електролизерами* або *електролітичними (гальванічними) ваннами*.

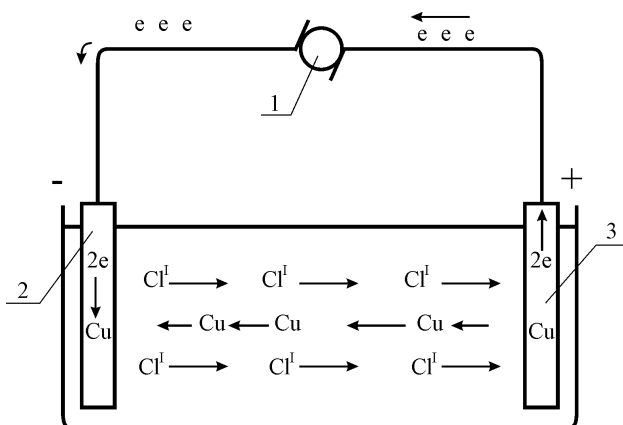


Рисунок 3.1 - Схема електролізу водяного розчину хлористої міді з мідними електродами: 1 - джерело постійного струму; 2 - катод; 3 - анод; e - електрони.

При гальванічному покритті деталей як електроліт застосовують розчин солі, що містить іони металу, що осаджується, (в електроліт вводять також деякі компоненти, що поліпшують властивості покриттів, що збільшують електропровідність електроліту та інш.). Катодом служать попередньо очищені і підготовлені деталі, що підлягають покриттю, а анодом - пластини з металу, що осаджується.

Іноді застосовують аноди з такого металу або сплаву, які в даному електроліті не розчиняються (свинець), а також нерозчинні аноди із графіту. На таких анодах при електролізі звичайно виділяється кисень.

Процес електролізу зводиться головним чином до того, що іони металу, які перебувають в електроліті, розряджаються на катоді, переходячи в атомарний стан, і осаджуються на ньому, утворюючи кристалічні ґрати, покриваючи поверхню деталі шаром металу. Анод при цьому розчиняється (у випадку електролізу з розчинним анодом), утворюючи нові іони металу замість тих, що виділились на катоді і підтримуючи концентрацію електроліту в процесі електролізу.

Режим електролізу при заданому складі електроліту характеризується трьома основними показниками:

- 1) Кислотністю електроліту, що виражається в г/л або в одиницях рН;
- 2) Температурою електроліту в °С;
- 3) Катодною густиною струму, вимірюваної в А/дм².

Густиною струму називається сила струму, що доводиться на одиницю площі поверхні електрода:

$$D = \frac{I}{S}, \quad (3.1)$$

де I - сила струму, А;

S - площа поверхні електрода, дм^2 .

Густина струму на катоді позначають через D_k , а на аноді - D_a . Концентрація струму у ванні показує скільки амперів струму доводиться на один літр електроліту (А/л).

Закони Фарадея. Кількісно процес електролізу підкоряється двом законам, відкритим Фарадеєм в 1833 р., названими згодом законами Фарадея:

1. Маса речовини, що виділилась на катоді або розчинилась на аноді, прямо пропорційна силі струму та часу його проходження, тобто прямо пропорційна кількості електрики, що пройшла через електроліт. Наприклад, якщо при проходженні струму 10 А протягом 3 год. на катоді виділилося 32,8 г нікелю, то така ж кількість нікелю виділиться при проходженні струму 15 А протягом 2 год. або 30 А протягом 1 год. і т. п.

2. При проходженні однієї ж кількості електрики через різні електроліти маси, що виділились або розчинилися, пропорційні їх хімічним еквівалентам речовини.

Наприклад, хімічний еквівалент двовалентного олова дорівнює 59,35, а двовалентного заліза - 27,92. Тому, при проходженні через розчини заліза і олова, наприклад, 1 А-годину електрики маса олова, який виділився на катоді буде в $\frac{59,35}{27,92} \approx 2,1$ рази більше, ніж маса заліза.

Фарадей встановив, що для виділення одного грам-еквівалента будь-якої речовини необхідно пропустити через електроліт $F=96500$ кулонів (ампер-секунд) електрики. Це число називається постійною Фарадея. На практиці часто користуються значенням Фарадея в ампер-годинах:

$$F = \frac{96500}{3600} = 26,8 \text{ А} \cdot \text{год.} \quad (3.2)$$

Маса речовини, що виділилась на катоді або розчинилась на аноді при проходженні через електроліт одиниці кількості електрики, називається *електрохімічним еквівалентом*. Для кожної речовини електрохімічний еквівалент є постійною величиною, що залежить від природи речовини і визначається діленням його хімічного еквівалента на постійну Фарадея (табл. 3.1).

Обидва закони Фарадея в загальному виді виражаються формулою:

$$M_T = C \cdot I \cdot t_0, \quad (3.3)$$

де M_T – маса, яка виділилась на катоді (що розчинилося на аноді) речовини, г;

C - електрохімічний еквівалент речовини (для кожного металу величина постійна), г/ А-год;

I - сила струму, що проходить через електроліт, А;

t_0 - тривалість електролізу, год.

Таблиця 3.1 - Електрохімічні еквіваленти та інші характеристики деяких металів

Метал	Хімічне позначення іона	Атомна маса	Валентність	Хімічний еквівалент	Електрохімічний еквівалент, г/А·год	Щільність, г/см ³
Алюміній	Al ³⁺	26,98	3	8,99	0,3354	2,7
Марганець	Mn ²⁺	54,94	2	27,47	1,025	7,3
Цинк	Zn ²⁺	65,38	2	32,69	1,220	7,13
Хром	Cr ⁶⁺	52,01	6	8,67	0,324	6,9
Залізо	Fe ²⁺	55,85	2	27,92	1,042	7,8
Кадмій	Cd ²⁺	112,41	2	56,20	2,097	8,6
Кобальт	Co ²⁺	58,94	2	29,47	1,100	8,8
Нікель	Ni ²⁺	58,71	2	29,35	1,095	8,8
Олово	Sn ²⁺	118,70	2	59,35	2,214	7,3
Свинець	Pb ²⁺	207,20	2	103,60	3,865	11,34
Водень	H ⁺	1,008	1	1,008	0,0376	-
Мідь	Cu ²⁺	63,57	2	31,78	1,186	8,93
Мідь	Cu	63,57	1	63,57	2,372	8,93

Вихід металу по струму. Відомо, що при електролізі одночасно з осадженням металу на катоді виділяється водень, а також протікають і інші побічні процеси, на що затрачається частина електричного струму. Тому, дійсна маса осадженого металу буде менша теоретичної, яка розраховується за законом Фарадея. Відношення практично отриманого на катоді кількості металу M_n до теоретично можливого називається катодним *виходом металу по струму*, що виражають у відсотках:

$$\eta = \frac{M_n}{M_t} 100\% = \frac{M_n}{CIt_0} 100\% \quad (3.4)$$

Вихід металу по струму є найважливішим показником процесу електролізу. Фізичний зміст виходу металу по струму полягає в тому, що він являє собою коефіцієнт використання електричного струму (іноді його називають ККД ванни, що невірно, тому що ККД характеризує використання енергії, а не струму). Наприклад, при хромуванні ($\eta=10\ldots18\%$, а при залізненні $\eta=85\ldots95\%$). Це означає, що при хромуванні лише $10\ldots18\%$ витраченого на електроліз електрики корисно використовується на осадження металу, тоді як при залізненні - $85\ldots95\%$.

Також, визначають і анодний вихід по струму: відношення кількості металу, практично розчиненого на аноді, до теоретично можливого називається анодним виходом металу по струму.

При електролізі деяких розчинів весь струм витрачається лише на одну електрохімічну реакцію - виділення металу, у результаті чого катодний вихід металу по струму практично дорівнює 100% . Це спостерігають, зокрема, при осадженні срібла і міді. У цьому випадку по кількості продуктів електролізу можна досить точно визначити кількість електрики, що пройшла через електроліт. Прилади, за допомогою яких по кількості продуктів електролізу визначають кількість електрики, називаються *кулонометрами*.

Вихід металу по енергії. Використання енергії при електролізі звичайно характеризують виходом металу по енергії, під яким вважається кількість електричної енергії, витраченої на одиницю маси отриманого металу:

$$Y = \frac{It_0 U}{M_n}, \quad (3.5)$$

де Y - вихід металу по енергії, кВт-год/кг;

I - сила струму, що проходить через електроліт, А;

U - робоча напруга на ванні, В;

M_n - кількість отриманого металу, г;

t_0 - тривалість електролізу, год.

Кількість електрики ($I \cdot t_0$) можна знайти з формули (3.5):

$$It_0 = \frac{M_n \cdot 100}{C\eta}$$

Підставивши це значення кількості електрики у формулу (3.6), одержимо:

$$Y = \frac{M_n \cdot 100U}{C\eta M_n} = \frac{100U}{C\eta}, \quad (3.6)$$

де C - електрохімічний еквівалент металу, г/ А-год;

η - катодний вихід металу по струму, %.

Таким чином, вихід металу по енергії прямо пропорційний напрузі на ванні і зворотно пропорційний електрохімічному еквіваленту та виходу металу по струму. Тому для скорочення витрати електроенергії необхідно вибирати умови електролізу (склад електроліту і режим електролізу) так, щоб отримувати мінімальну напругу на ванні і забезпечувати максимальний вихід металу по струму, тобто щоб відношення $\frac{U}{\eta}$ було мінімальним.

3.2 Застосування електрохімічних процесів в машинобудуванні і ремонтному виробництві

У машинобудуванні і ремонтному виробництві найбільше поширення одержали наступні електрохімічні процеси: насталювання (залізнення), хромування, нікелювання, міднення, цинкування.

3.2.1 Насталювання (залізнення)

З електрохімічної точки зору залізо разом з нікелем і кобальтом становлять одну групу металів - групу заліза. Електролітичне осадження цих металів супроводжується значною хімічною поляризацією.

Метали групи заліза у з'єднаннях можуть бути дво- і тривалентні. Електроосадження здійснюється з розчинів двовалентних з'єднань. Двовалентні іони металу, що перебувають в електроліті, легко окисляються до тривалентних киснем повітря, що проникає в електроліт. Наявність в електроліті тривалентних іонів металу знижує вихід металу по струму і погіршує властивості покриття.

Властивості та області застосування залізних покриттів. Хімічний склад електролітичного заліза залежить від складу вихідних матеріалів, застосовуваних при електролізі. У звичайних умовах електролізу із застосуванням розчинних анодів залізо осаджується з більшою кількістю домішок і за хімічним складом нагадує маловуглецеву сталь.

Фізико-хімічні властивості залізних покриттів характеризуються наступними показниками: кристалічна структура кубічна; густина $7,8 \text{ г/см}^3$; температура плавлення 1535°C ; коефіцієнт лінійного розширення $11,9 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$; межа міцності невідпаленого заліза $735\text{...}776 \text{ МПа}$; відносне подовження невідпаленого заліза $10\text{...}50\%$; мікротвердість $1600 \text{...} 7800 \text{ МПа}$ залежно від умови електролізу.

Основні фізико-механічні і пов'язані з ними експлуатаційні властивості залізних покриттів (структура, твердість, пластичність, зовнішній вигляд, зносостійкість і інш.) змінюються в широких межах залежно від умови електролізу. Зносостійкість деталей, відновлених твердим ($4000\text{...}6000 \text{ МПа}$) електролітичним залізом не поступається зносостійкості нових деталей. У вологій атмосфері електролітичне залізо піддається корозії, але меншій, ніж сталь.

Таким чином, тверде електролітичне залізо за хімічним складом нагадує маловуглецеву, а за деякими властивостями (твердість, міцність, зносостійкість, корозійна стійкість) – середньовуглецеву сталь. Тому, процес одержання на деталях твердих залізних покриттів професор М.П.Крейд назвав «твердим насталуванням». У цей час термін «насталування» одержав широке поширення в технічній літературі.

Залізнення має високі техніко-економічні показники: вихідні матеріали і аноди є дешевими і недефіцитними; високий вихід металу по струму ($85\text{...}95\%$); висока продуктивність - швидкість осадження заліза становить $0,2\text{...}0,5 \text{ мм/год}$; товщина твердого покриття досягає $0,8\text{...}1,2 \text{ мм}$; можливість у широких межах регулювати властивості покриттів (мікротвердість - $1600\text{...}7800 \text{ МПа}$) залежно від їхнього призначення обумовлює універсальність процесу; досить висока зносостійкість твердих покриттів, що наближається до зносостійкості загартованої сталі; покриття добре хромуються, що дозволяє при необхідності підвищувати зносостійкість деталей нанесенням більше дешевого, чим хромового, комбінованого покриття залізо-хром.

Маючи високі техніко-економічні показники, залізнення знаходить широке застосування в наступних областях:

- відновлення зношених деталей (нарощування до номінального або ремонтного розміру) автомобілів, тракторів, сільськогосподарських машин, різного устаткування;
- виправлення браку механічної обробки;
- зміцнення робочих поверхонь деталей з маловуглецевої і середньовуглецевої сталі, що не пройшли при виготовленні термічної обробки;
- покриття пластинок твердого сплаву для полегшення припаювання їх до різців.

Найбільш широке застосування залізнення одержало в ремонтному виробництві різних галузей народного господарства, як один з найбільш ефективних способів відновлення малозношених деталей машин і устаткування. Собівартість відновлення деталей залізненням становить звичайно $30\text{...}50\%$ від вартості нових деталей при приблизно рівній зносостійкості.

Електроліти для залізнення. За складом електроліти поділяють на 3 групи, що розрізняються видом аніона солі заліза: хлористі, сірчаноокислі та змішані (сульфатно-хлористі).

Для поліпшення електропровідності електроліту в нього вводять солі натрію, калію, кальцію або марганцю. Концентрація цих добавок звичайно не перевищує 100 г/л. Однак введення їх в електроліт, крім солей марганцю, збільшує шорсткість покриттів. Стабільність електроліту підвищують введенням в електроліт буферуючих і протиокислюючих домішок, у якості яких використовують хлористий або сірчаноокислий амоній (50...120 г/л), йодистий калій (до 40 г/л), амінооцетову кислоту - гликаколь (1...5 г/л), соляноокислий гидразин (3...10 г/л), аскорбінову кислоту (0,5...2,0 г/л).

Сірчаноокислі електроліти в порівнянні із хлористими мають меншу хімічну агресивність і окислюваність. Однак вони поступаються хлористим електролітам за продуктивністю, якістю одержуваних покриттів та іншими показниками. Тому вимогам ремонтного виробництва найбільш повно задовольняють прості (без домішок) хлористі електроліти, які і набули найбільшого застосування.

За температурним режимом електроліти поділяються на гарячі та холодні. Гарячі електроліти характеризуються високою температурою (60...90°C), що дозволяє проводити залізнення при великій густині струму та високій продуктивності процесу. Холодні електроліти (електроліз ведеться без нагрівання) здебільшого допускають застосування малих густин струму і тому малопродуктивні.

У таблиці 3.2 наведені найпоширеніші електроліти та режими залізнення.

Таблиця 3.2 – Склад електролітів і режими залізнення

Компоненти і режими	Електроліти №					
	1	2	3	4	5	6
Залізо хлористе, г/л	200...250	300...350	600...680	-	400...600	150...200
Залізо сірчаноокисле, г/л	-	-	-	300	-	200
Натрій хлористий, г/л	100	-	-	150	-	-
Кислота аскорбінова, г/л	-	-	-	-	0,5...2,0	-
Кислота соляна, г/л	-	-	-	0,4...0,7	-	-
Кислотність, рН	0,8...1,2	0,8...1,2	0,8...1,5	-	0,5...1,3	0,6...1,1
Температура електроліту, °С	70...80	70...80	70...80	95...98	20...50	30...50
Густина струму, А/дм ²	20...40	20...50	20...60	10...15	10...30	20...25
Вихід по струму, %	85...92	85...95	85...95	90	85...92	85...92

Для нарощування зношених деталей у більшості випадків використовується малоцентрований електроліт №1, що дозволяє одержувати щільні та гладкі покриття твердістю до 6500 МПа і товщиною до 1,0...1,2 мм. Замість хлористого натрію часто в електроліт додають хлористий марганець, що не тільки підвищує його електропровідність, але і поліпшує рівномірність покриттів, зменшує дендритоутворення.

Висококонцентрований електроліт №3 дозволяє одержувати високоякісні покриття товщиною до 3 мм. Застосовують цей електроліт звичайно при нанесенні покриттів на внутрішні поверхні при позаважному залізненні.

Електроліти №1 і №3 не є стабільними за складом. Концентрація заліза в електроліті №1 поступово збільшується, а в електроліті №3 - зменшується, прагнучи до оптимального значення, що викликає певні ускладнення при експлуатації ванни. Дослідження і багаторічний досвід показують, що концентрація електроліту №2 є оптимальною і практично не змінюється при тривалій роботі ванни. За всіма іншими

показниками цей електроліт близький до електроліту №1. Тому останнім часом його застосовують частіше.

Електроліт №4 використовують у поліграфії для залізнення стереотипів. Наявність в електроліті № 5 аскорбінової кислоти запобігає його окисленню і утворенню гідроокису заліза, у результаті чого можливе одержання високоякісних покриттів при низькій температурі і досить високій густині струму. Однак висока вартість аскорбінової кислоти перешкоджає широкому застосуванню цього електроліту. Холодний сульфатно-хлористий електроліт №5 має переваги хлористих і сірчанокислих електролітів: менш агресивний і більш стійкий до окислювання, чим хлористі, і в той же час дозволяє одержувати покриття гарної якості з високою продуктивністю. Тому, на теперішній час його ширше застосовують у ремонтному виробництві.

Технологія залізнення. У ремонтному виробництві застосовують два варіанти технологічного процесу залізнення (табл. 3.3), що відрізняються між собою способами травлення.

Зношені деталі очищають від бруду і масла на розбирально-мийній дільниці.

При малому і рівномірному зношуванні і якщо немає на відновлюваній поверхні глибоких рисок, задирів, забоїв (наприклад, на шийках валів під підшипники), механічну обробку можна замінити зачищенням поверхні наждаковим полотном.

Знежирюють деталі електрохімічним методом або віденським вапном. В останньому випадку їх не промивають гарячою водою.

Промивання деталей гарячою водою перед завантаженням їх у ванну залізнення необхідні не тільки для більш повного видалення залишків сірчаної кислоти, але і для прогріву деталей з метою створення більш сприятливого теплового режиму в початковий період залізнення. Тривалість промивання гарячою водою залежить від маси деталей і коливається від 0,5 до 5 хв. Підігріті у воді деталі варто переносити у ванну так швидко, щоб на їхній поверхні не висохла водяна плівка.

Наведена в табл. 1.3 послідовність виконання операцій підготовки може змінюватися залежно від конструкції деталей і підвісок. Так, при нанесенні покриттів на внутрішні поверхні їх знежирюють віденським вапном звичайно перед монтажем деталей на підвіску.

Для одержання високої міцності зчеплення покриття з деталлю важливо, щоб пасивна плівка, що утворилася при анодному травленні, була зруйнована безпосередньо перед залізненням. Тоді перші атоми заліза будуть осаджуватися на активну чисту поверхню деталі і міцно зчіплюватися з нею. Активування поверхні (руйнування пасивної плівки) відбувається при виконанні переходів «витримка без струму» і «вихід на заданий режим» (розгон).

Таблиця 3.3 - Технологічний процес залізнення

Операції	Послідовність операцій у варіантах	
	першому	другому
Очищення деталей від бруду і масла	1	1
Обробка механічна	(2)	(2)
Промивання органічним розчинником (бензином, гасом і ін.)	3	3
Сушіння	4	4
Зачищення поверхонь, що покриваються	(5)	(5)
Ізоляція поверхонь, які не підлягають покриттю, і монтаж деталей у підвісні пристосування	6	6
Знежирення деталей	7	7
Промивання гарячою водою (70...80 ⁰ С)	8	8
Промивання холодною водою	9	9
Травлення анодне в електроліті залізнення	-	10
Промивання холодною водою	-	11
Обробка анодна в 30% розчині сірчаної кислоти	10	12
Промивання холодною водою	11	13
Промивання-прогрів теплою водою (50...60 ⁰ С)	12	14
Залізнення	13	15
Промивання гарячою водою (70...80 ⁰ С)	14	16
Нейтралізація	15	17
Промивання гарячою водою (70...80 ⁰ С)	16	18
Демонтаж деталей з підвісок і зняття ізоляції	17	19
Контроль якості покриттів	18	20
Обробка механічна	19	21
Консервація деталей	(20)	22

Примітка. Цифри в дужках означають, що дані операції або виконують, або не виконують, залежно від конкретних умов.

Витримка без струму. Після анодного травлення і промивання деталі завішують на катодну штангу ванни залізнення і витримують без струму протягом 10...60 с. Під час витримки температура поверхні деталі порівнюється з температурою електроліту і поверхня частково активується іонами хлору та водню з електроліту.

Вихід на заданий режим. Після витримки деталей без струму включають струм густиною 2...5 А/дм² і проводять електроліз протягом 0,5...1,0 хв. Потім протягом 5...10 хв. катодну щільність струму поступово збільшують до заданого значення. Мала густина струму на початку електролізу забезпечує кількісну перевагу виділення водню над осадженням заліза. Катодний струм і водень, що інтенсивно виділяється, будучи відновлювачем, закінчують почате при витримці без струму активування поверхні, що покривається. Низька густина струму на початку електролізу і поступове її підвищення забезпечують осадження м'якого підшару заліза з невеликими внутрішніми напруженнями. Всі ці фактори сприяють одержанню високої міцності зчеплення покриттів з деталями.

При виборі режиму залізнення варто мати на увазі загальні для більшості гальванічних процесів положення: чим вища катодна густина струму, тим більша швидкість осадження металу і продуктивність процесу; чим нижча температура і концентрація електроліту та вища щільність струму (жорсткіше режим), тим більша твердість залізних покриттів і менша їх максимальна товщина; чим вища температура і концентрація електроліту, тим більшу густину струму можна допустити без шкоди для якості покриттів.

При залізненні необхідно витримувати задану кислотність електроліту, тому що її зниження приводить до різкого погіршення зчеплення покриттів аж до відшаровування.

Тривалість залізнення (після виходу на заданий режим) залежить від режиму електролізу і необхідної товщини покриття. Її визначають за формулою (3.10). У виробничих умовах тривалість залізнення приблизно можна визначити з виразу (при $\eta=75\%$):

$$t_0 = 100 \frac{h}{D_k}, \quad (3.7)$$

де h - товщина покриттів, мм;

D_k - катодна густина струму, А/дм².

Необхідну товщину покриття визначають за наступними формулами для валів

$$h = \frac{d_n - d_0 + \delta}{2} \text{ мм}; \quad (3.8)$$

для отворів

$$h = \frac{d_0 - d_n + \delta}{2} \text{ мм}, \quad (3.9)$$

де d_n - номінальний діаметр деталі, мм;

d_0 - діаметр зношеної і обробленої перед залізненням деталі, мм;

δ - припуск на механічну обробку після залізнення, мм.

Припуск на механічну обробку залежить від багатьох факторів: режиму електролізу і товщини покриття, конфігурації і розмірів деталі і т.д. Орієнтовно припуск на механічну обробку приймають рівним 0,10...0,20 мм для наступного шліфування і 0,20...0,30 мм для токарної обробки.

При залізненні застосовують розчинні аноди з маловуглецевої сталі. При цьому співвідношення між анодною і катодною поверхнями повинна бути в межах від 1 до 2, тобто $S_a : S_k = 1...2$. При нанесенні покриттів на внутрішні поверхні це співвідношення витримати практично неможливо. Оптимальне значення діаметра анода при залізненні внутрішніх поверхонь становить 1/3...2/3 діаметра отвору. Не рекомендується використовувати аноди меншого діаметра.

При нанесенні покриття на зовнішні поверхні краще застосовувати плоскі аноди товщиною 8...10 мм і шириною 40...50 мм, тому що при розчиненні круглих анодів швидко зменшуються їх діаметр і площа, у результаті чого порушується співвідношення, що рекомендується $S_a : S_k$.

Для зменшення забруднення електроліту анодним шламом аноди варто поміщати в чохли (мішки) з кислотостійкої тканини (склотканина або вовна). Гарні результати дає застосування для цієї мети склотканину ТСФ-9П(а).

Відстань між деталями повинна бути такою, щоб вони не екранували одна іншу (70...150 мм). Чим більші деталі і складніша їх конфігурація, тим більша повинна бути відстань між ними і тим краще буде рівномірність покриття. Верхні кінці деталей необхідно розташовувати нижче рівня електроліту на 50... 100 мм, а нижні - на відстані не менш 100...150 мм від дна ванни.

Аноди розташовують пообіч від деталей. Відстані між деталями і анодами повинні бути однаковими та рівними 60...150 мм. Довжина анодів не повинна бути більше довжини поверхні, що покривається.

3.2.2 Хромування

Електролітичний хром - твердий, тендітний метал, сріблясто-сталевого кольору із синюватим відтінком.

Фізичні властивості хрому наступні: атомна вага - 52,01, питома вага – 6,9 – 7,1 г/см³, температура плавлення 1751 – 1830 °С, твердість хрому 700-1200 кг/мм², електрохімічний еквівалент 0,324 г/Агод.

Електрохімічний хром має високу твердість, високу зносостійкість, низький коефіцієнт тертя, високу хімічну стійкість і жаростійкість. Гладкий хром має погану змочуваність. Електролітичне осадження характеризується високими внутрішніми напруженнями і значною пористістю.

Завдяки своїм винятково високим фізико-механічним властивостям, хром знайшов широке застосування в промисловості і, зокрема, у виробництві автомобілів і ремонті машин.

Існує хромування зносостійке та захисно-декоративне. Зносостійке хромування застосовується для відновлення зношеної поверхні деталей і для покриття інструмента з метою підвищення їхнього опору зношування. Хром захисно-декоративний застосовується з метою захисту виробу від корозії і надання гарного зовнішнього вигляду.

Захисно-декоративний хром застосовується звичайно з підшаром міді і нікелю, тому що хром через велику пористість не захищає від корозії.

Зовнішній вигляд, структура і механічні властивості електролітичного хрому змінюються в дуже широких межах залежно від умов електролізу, складу і температури електроліту, густині струму. При незмінному складі електроліту можна, змінюючи густину струму і температуру, одержати три різних види покриттів: блискучі, молочні і матові (сірі).

Вихідними даними при виборі режиму хромування зношених деталей є умови їхньої роботи в механізмі. Тобто відповідно до величини і характеру навантажень, що сприймаються поверхнею деталі, вибирається режим покриття.

Всі види зносостійкого хрому можна одержати в одному універсальному електроліті такого складу: хромовий ангідрид CrO₃ - 250 г/л; сірчана кислота H₂SO₄ - 2,5 г/л; але режими не однакові.

Вищенаведений склад електроліту називається універсальним, тому що в ньому можна одержувати покриття хрому і зносостійкі захисно-декоративні покриття.

Процес електролітичного хромування характеризується дуже малим виходом по струму в стаціонарних ваннах - 13-15%. Причиною цьому є малий електрохімічний еквівалент (0,324 г/А год) і склад електроліту (хромова кислота і сірчана). При такому складі електроліту електричний струм витрачається в основному на розрядку на катоді-деталі іонів водню, а сам процес хромування є побічним процесом.

При хромуванні аноди виготовляються зі свинцю, тобто із важкорозчинного металу. Електроліт являє собою розчин двох сильних кислот - хромової і сірчаної, які розчинили б аноди, виготовлені з металевого хрому.

3.2.3. Нікелювання

Нікель - метал сріблито-білого кольору з питомою вагою $8,9 \text{ г/см}^3$ і температурою плавлення 1452°C . Мікротвердість гальванічних осаджених нікелевих покриттів перебуває в межах $200 - 300 \text{ кг/мм}^2$ ($200-300 \cdot 10 \text{ МПа}$).

Нікелеві покриття добре поліруються до дзеркального блиску, який не змінюється від часу. Нікелеві покриття є захисно-декоративними, здатні надійно захищати залізо від корозії лише за умови його безпористості.

З метою збільшення протикорозійної стійкості нікелевих покриттів і зниження пористості осаджень нікель осаджують із підшаром міді. Звичайно при захисно-декоративному покритті на сталь осаджується спочатку нікель товщиною 3-4 мкм, потім шар міді товщиною 4-8 мкм, після чого осаджується верхній декоративний шар нікелю або хрому.

Нікелювання виконується в кислих електролітах, основним компонентом яких є сірчаноокислий нікель. Для підвищення електропровідності електроліту і поліпшення властивостей осаджень до нього додають сірчаноокислий натрій. Для надання осадження нікелю білого кольору і підвищення пластичності в електроліт вводиться сірчаноокислий магній. Для усунення пасивації анодів в електроліт вводять хлористий натрій або хлористий калій.

В якості буферного з'єднання, що підтримує в електроліті необхідну концентрацію іонів водню, вводиться борна кислота.

Склад електроліту:

Нікель сірчаноокислий - 200 г/л; натрій сірчаноокислий - 70г/л; магній сірчаноокислий - 30 г/л; борна кислота - 30 г/л; натрій хлористий - 5 г/л.

Режим електролізу:

Температура електроліту $T_3=18...20 \text{ }^\circ\text{C}$; катодна густина струму $D_k=0,5...1,0 \text{ А/дм}^2$; кислотність електроліту $\text{pH}=5,4$.

При осадженні нікелю застосовуються аноди з металевого нікелю марки Н1 або Н2. Аноди поміщують в чохлах із лляної тканини щоб уникнути забруднення електроліту шламом, що утвориться.

3.2.4 Міднення

Мідь - м'який, пластичний метал, що легко полірується. Питома вага -8,9 г/см³. Температура плавлення 1083°C. У хімічних сполуках мідь може бути одно- і двовалентною. Активно реагує з азотною, сірчаною і хромовою кислотами.

Електролітичне міднення в машинобудуванні і ремонтному виробництві застосовується для відновлення натягу в спряжених деталях (міднення зовнішньої поверхні вкладишів підшипників колінчастого вала); відновлення розмірів деталей (міднення втулок по зовнішній поверхні з наступним їх обтисненням); поліпшення плавності зачеплень і полегшення припрацювання (міднення черв'яків, зубів шестерень); захист поверхонь деталей та інструмента, що не підлягають цементації; одержання проміжного шару при захисно-декоративних покриттях сталевих і цинкових деталей.

На ремонтних підприємствах широко застосовуються сірчаноокислі холодні електроліти наступного складу:

Мідь сірчаноокисла - 250 г/л,

Сірчана кислота - 75 г/л,

Температура, $T = 18-25^{\circ}\text{C}$,

Густина струму, $D_k = 2-3 \text{ A/дм}^2$.

Великим недоліком сірчаноокислих електролітів є неможливість безпосередньо в них покривати міддю залізо, цинк і їхні сплави. При зануренні останніх у кислий мідний електроліт, на їх поверхні контактно виділяється мідь, що погано зчеплена з основою і має велику пористість. Тому при мідненні сталевих деталей попередньо наносять тонкий підшар нікелю або міді в пірофосфатному або ціаністому електроліті.

Аноди для міднення виготовляють із міді марки М-1. Товщина мідних покриттів, які застосовуються для вищевказаних цілей, наступна: для додання притирочних властивостей поверхонь деталей, також для шестерні і інших зубчастих з'єднань 18-24 Мк (до 30 Мк), для захисту деталей від науглецьовування при цементації - 48-60 Мк; як підшар при нікелюванні і хромуванні - 6-30 Мк.

3.2.5 Цинкування

Цинк - ламкий метал яскраво-сірого кольору з питомою вагою 7,2 г/см³ і температурою плавлення 419°C.

Будучи хімічно активним металом, він легко розчиняється в кислотах і лугах, не стійкий до впливу сірчистих з'єднань і вологого вуглекислого газу. Під впливом вологого повітря і води цинк тьмяніє та покривається білим нальотом окисних і вуглекислих з'єднань, що перешкоджають подальшому руйнуванню покриття.

У ремонтному виробництві цинкування застосовується переважно в антикорозійних цілях. Цинком покриваються кріпильні деталі, деталі навісних систем тракторів, що значно підвищує їх довговічність.

Цинкові покриття можна одержати в кислих, ціаністих, лужних і аміачних електролітах.

Ціаністі електроліти дуже отруйні і у ремонтному виробництві не застосовуються.

Лужні і аміачні електроліти дуже чутливі до коливань густини струму, температури, схильні до утворення зубчастих осадів. У зв'язку із цим застосування їх у ремонтному виробництві обмежене.

Кислі електроліти стійкі в роботі, дають високий вихід металу по струму, рівний 95-99%, але їх розсіюча здатність менша, ніж у лужних і аміачних.

У ремонтному виробництві кислі електроліти застосовуються для покриття деталей простої конфігурації.

Найбільше поширення одержав кислий електроліт наступного складу: 200-250 г/л сірчаноокислого цинку, 80-100 г/л сірчаноокислого натрію, 30 г/л сірчаноокислого алюмінію, 10 г/л дикстрена.

Кислотність електроліту - $\text{pH}=3,8...4,4$;

Температура електроліту - $T_3=18...25^\circ\text{C}$;

Катодна густина струму - $D_k=1...2\text{ A/дм}^2$;

Вихід металу по струму $\eta=97...99\%$.

Як аноди при цинкуванні деталей застосовуються цинкові пластини марки ЦО.

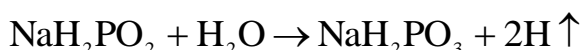
3.2.6 Хімічне нікелювання

Дедалі активніше поширюється в промисловості метод зміцнення і захисту деталей - метод хімічного (безелектролізного) нікелювання, заснований на здатності гіпофосфатів відновлювати нікель із водяних розчинів його солей.

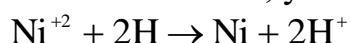
До складу розчинів входять нікель, гіпофосфит і органічні з'єднання, що регулюють рівень концентрації водневих іонів, які утворюються в ході реакції і впливають на швидкість її протікання.

Про сутність процесу хімічного нікелювання є кілька гіпотез.

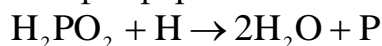
Найбільш прийнятною є гіпотеза К.М.Горбунової про ступінчастість характеру процесу. У першій стадії відбувається розкладання гіпофосфита водою з утворенням атомарного водню:



Швидкість протікання цієї реакції зростає з підвищенням температури. На другій стадії процесу водень впливає на іон нікелю, утворюючи металевий нікель:



Побічна реакція відновлення гіпофосфитної кислоти воднем іде одночасно, що приводить до насичення покриття фосфором:



Для хімічного осадження нікелю використовуються різні електроліти. Найбільш зносостійкі покриття дає, перевірений у виробничих умовах, електроліт наступного складу:

Хлористий нікель – 45 г/л, хлористий амоній - 50 г/л, гіпофосфит натрію – 20 г/л, лимоннокислий натрій – 45 г/л. Кислотність розчину $\text{pH}=5...5,5$. Температура електроліту - $80\pm 2^\circ\text{C}$.

Кислотність електроліту корегується 2-3% розчином NaOH. Можливість одержання покриттів з розчину хімічним шляхом має переваги перед електролітичним способом одержання покриттів, а саме: простота технологічного процесу і устаткування, можливість одержання рівномірних по товщині осадків на

деталях будь-якої конфігурації, точність відтвореного рельєфу поверхні, що покривається, висока твердість покриття, зносостійкість, антикорозійна стійкість.

Поряд із цим хімічне нікелювання має й недоліки. До них відносяться порівняно низька продуктивність процесу (15-30 мк/год), складні, дорогі електроліти, велика витрата їх.

У ремонтному виробництві хімічне нікелювання можна рекомендувати для відновлення відповідальних, малозношуваних деталей таких, як плунжерні пари, вали паливних насосів, поршневі пальці, гільзи гальмових циліндрів і ін.

3.3Схема підготовки поверхонь деталей перед покриттям їх електролітичними металами

1. Механічна обробка (шліфування, полірування).
2. Знежирення (хімічне або електрохімічне).
3. Промивання в проточній гарячій і потім у холодній воді.
4. Хімічна або електрохімічна обробка.
5. Промивання в проточній воді.
6. Нанесення покриття в гальванічній ванні.
7. Промивання в проточній гарячій воді.
8. Нейтралізація в 10% -м розчині кальцинованої соди.
9. Промивання в гарячій воді.
10. Сушіння деталей гарячим стисненим повітрям.
11. Шліфування до номінального або ремонтного розміру (для декоративних цілей - полірування).

Для нанесення покриття на чорні метали можна рекомендувати наступний техпроцес підготовки:

1. Очищення від бруду і мастила. Сильне забруднені деталі мастилом кип'ятять в 10% розчині NaOH 15...20 хв.

2. Механічна обробка (шліфування) для усунення слідів зношування.

3. Монтаж на підвіски.

4. Знежирення: а) хімічне.

Склад: NaOH - 100 г/л;

Na₂CO₃ - 30 г/л;

рідке скло - 2 г/л.

Режим: T= 70-80°C, t= 10 - 30 хв.

б) електрохімічне (анодна обробка).

Склад: NaOH - 40 г/л;

тринатрій фосфат - 20 г/л;

Na₂CO₃ - 40 г/л;

рідке скло - 2 г/л.

Режим: D_a = 10-15 а/дм², T=70... 80°C.

в) знежирення віденським вапном.

Віденське вапно - суміш окису кальцію і окису магнію. Її можна замінити сумішшю гашеного вапна і крейди у відношенні 3/1 з додаванням 3% Na₂CO₃.

5. Промивання холодною водою.

6. Травлення (анодне декапіювання).
7. Промивання холодною водою.
8. Промивання гарячою водою.
9. Нанесення покриття.
10. Промивання в гарячій воді.
11. Нейтралізація в 10% розчині NaOH.
12. Промивання в гарячій воді.
13. Сушіння.
14. Механічна обробка.

Травлення мідних і бронзових деталей виконують в розчині азотної кислоти.

Для міднення алюмінію і його сплавів у кислих електролітах застосовується спеціальна підготовка. Деталі монтуються в підвісні пристосування і протравлюються у 10... 15%-ному розчині каустичної соди при 60-70°C протягом 1-2 хв. Деталі з точними розмірами або з ливарних сплавів з високим змістом кремнію не повинні трітиса більше 10... 15 с. Після промивання у воді деталі освітлюються у 10-15% розчині азотної кислоти, знову промивають проточною водою і завішують на анодну штангу у ванну, що містить 250-300 г/л ортофосфорної кислоти. Анодна обробка виконується при 15... 20°C і щільності струму 2... 4 А/дм² із середньою тривалістю 10 хв. Потім деталі промивають і завішують під струмом у кислий електроліт міднення.

3.4 Охорона праці

При проведенні роботи слід використовувати спецодяг: гумовими чоботами, рукавичками, прогумованими фартухами, халатами і окулярами, користування якими дозволяється тільки в робочий час. Під час обідньої перерви і після закінчення робочого дня спецодяг зберігається в шафі. Забороняється нести спецодяг додому.

Крім того, забороняється зберігати харчові продукти, приймати їжу і курити в робочому приміщенні, ремонтувати устаткування при включеній силовій мережі, допускати сторонніх осіб на робочі місця.

Приточно-витяжна вентиляція повинна бути справною, її дозволяється включати не пізніше ніж за 15 хв. до початку роботи, а виключати не раніше чим через 15 хв. після закінчення роботи. Ванни, що виділяють шкідливі речовини, по закінченні роботи варто закривати кришками. Не рідше одного разу в 6 місяців необхідно проводити аналіз повітря на зміст у ньому отруйних газів, пару і пилу. Особливо ретельно необхідно контролювати технічний стан пристрою вентиляції цiанiстих і хромових ванн.

Готувати, корегувати і фільтрувати електроліти необхідно при включеній вентиляції. При розведенні кислот потрібно обов'язково лити кислоту у воду, а не навпаки. Солі і кислоти в електроліт варто додавати дрібними порціями. У всіх цих випадках необхідно користуватися захисними окулярами, щоб в очі не потрапили бризки, а при засипанні сухих хімікатів у ванни – противобрудними респираторами.

Випадково пролиту на підлогу або устаткування кислоту варто негайно змити водою, а потім залишки її нейтралізувати сухою кальцинованою содою до припинення реакції. Пролитий луг необхідно змити водою.

При потраплянні кислоти, лугу або електроліту на відкриті частини тіла або в очі уражені місця потрібно негайно обмити струменем води. Потім уражені кислотою або кислим електролітом місця промити 2...3% розчином питної соди, а уражені лугом - 1 % розчином оцтової кислоти. Потім знову промити водою.

Для запобігання шкідливого впливу хромової кислоти працюючих на ванні необхідно змазувати слизувати оболонку носа маззю, що складається з однієї частини ланоліну і двох частин вазеліну. У всіх випадках одержання травм, опіків, отруєнь потерпілому необхідно надати першу допомогу і негайно направити його в медичний пункт. Для надання першої допомоги в гальванічному цеху повинна бути аптечка, що містить бинти, вату, розчин йоду, розчин борної кислоти, вазелін, 2...3% розчин питної соди, 1% розчин оцтової кислоти, мазь проти опіків.

Скляні балони з кислотами і лугами необхідно зберігати в кошиках або дерев'яному решетуванні. Бутилі варто перевозити на спеціальних візках або переносити на носилках. Бутилі повинні бути герметично закупорені; зберігати кислоти і луги у відкритих ємностях забороняється. При розкритті барабанів із хромовим ангідридом і їдкими лугами, а також при наливанні кислот необхідно, крім спецодягу, надягати захисні окуляри.

Штанги, підвіски і аноди варто чистити тільки вологим способом, змочуючи металеві щітки або наждакове полотно водою, тому що пил кольорових металів отруйний і вдихання його може викликати отруєння.

Забороняється закріплювати деталі в пристосуваннях над поверхнею ванни. З ванни деталі необхідно діставати спеціальними пристосуваннями (магнітами, совками та інш.).

Пускорегулюючі пристрої ванн повинні бути добре видні з робочого місця і мати вільний доступ для їх вмикання та вимикання. Електротехнічне устаткування повинне бути заземлене. Необхідно попереджати випадки короткого замикання у ваннах, яке може привести до опіків працюючих і викликати вибух газів, що виділяються при електролізі.

У приміщенні обов'язково має бути протипожежне устаткування (вогнегасники, пісок та інш.). Легкозаймісті матеріали потрібно зберігати в металевих ящиках.

У лабораторії на видних місцях повинні бути вивішені інструкції і плакати з охорони та безпеки праці.

3.5 Завдання до виконання роботи

1. Ознайомитися з устаткуванням і матеріалами, які застосовуються при нанесенні покриттів.
2. Зробити підготовку деталей (зразків) і нанести два види покриття (за вказівкою викладача).
3. Розрахувати параметри електрохімічного процесу і проконтролювати якість покриття.

3.6 Об'єкти роботи, устаткування та інструмент

1. Випрямляч;
2. Ванни для травлення і осадження;

3. Хімікати;
4. Прилад для виміру кислотності (рН-метр);
5. Мікротвердомір ПМТ-3;
6. Підвіски, викрутки;
7. Зразки;
8. Мікрометр;
9. Аналітичні ваги;
10. Термометр.

3.7. Порядок виконання роботи

1. Зробити вимір розмірів зразка і зважити його.
2. Завісити зразок на підвіску.
3. Зробити підготовку до нанесення покриття і осадження згідно техпроцесу.
4. Визначити товщину покриття, вихід по струму і зробити контроль якості покриття.

3.8 Зміст звіту

1. Короткі теоретичні відомості.
2. Ескіз деталі, що покривається, із показником розмірів до і після покриття. Розрахунок величини струму, часу осадження та виходу по струму.
3. Описати зовнішній вигляд покриття. Побудувати графічні залежності процесу (за вказівкою викладача).

3.9. Контрольні питання

1. Сутність процесу електролізу.
2. Закони Фарадея.
3. Основні параметри електрохімічного процесу.
4. Склад електролітів і режими нанесення покриттів.
5. Готування електролітів.
6. Сутність процесу безелектролізного нікелювання.
7. Області застосування окремих видів покриттів.

Практичне заняття №4 ВІДНОВЛЕННЯ І ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПОВЕРХНЕВИМ ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ

4.1 Короткі теоретичні відомості

При виготовленні і експлуатації деталей машин на їх поверхнях утворюються нерівності і мікронерівності, а шар металу, що безпосередньо прилягає до поверхні, змінює структуру, фазовий і хімічний склад, у ньому виникають залишкові напруги.

Шар металу, що відрізняється від основної маси деталі структурою, фазовим і хімічним складом, називають поверхневим.

У умовах експлуатації поверхневий шар деталі піддається найбільше сильному

фізико-хімічному впливу: механічному, тепловому, магнітоелектричному, світловому, хімічному та ін. У більшості випадків у деталі починає погіршуватися службові властивості поверхні, наприклад, знос, ерозія, кавітація, корозія, втомлювальні тріщини й інші руйнації, які розвиваються спочатку на поверхні. Тому до поверхневого шару пред'являють звичайно більш високі вимоги, чим до основної маси деталі.

Реальна поверхня фізичного тіла недосконала. Розрізняють наступні геометричні відхилення поверхонь у залежності від відношення кроку S до висоти R нерівностей:

- при $S/R < 50$ - шорсткість поверхні;
- при $S/R = 50 \dots 1000$ - хвилястість поверхні;
- при $S/R > 1000$ - макроскопічні відхилення або відхилення від правильної геометричної форми (конусність, овальність, увігнутість і ін.).

Дефекти поверхні - це окремі нерівності, сукупність нерівностей або ділянки поверхонь, розміри котрих істотно відрізняються від параметрів шорсткості і хвилястості. До дефектів поверхні відносяться ризики, подряпини, ум'ятини, раковини, пори, відколи, викрашування, тріщини, задири, заусенці та ін.

Шорсткість поверхні регламентується за ГОСТ 2789-73, у якому передбачене нормування шорсткості по висоті (R_z , R_a , R_{max}) і по параметрах, що характеризує форму, розташування і напрямок мікронерівностей у межах базової довжини - середньому кроку нерівностей S_m , середньому кроку нерівностей по вершинах S і відносній опорної довжині профілю t_p .

Хвилястість може утворюватися на поверхні деталі при її виготовленні в результаті вібрації системи верстат - пристосування - інструмент - заготовля. Розрізняють хвилястість поперечну - із розташуванням хвиль перпендикулярно до руху ріжучого інструмента і подовжню - із розташуванням хвиль у напрямку руху інструмента.

Хвилястість поверхні дотепер не стандартизована, при її призначенні керуються галузевими нормами або рекомендаціями СЕВ, що для оцінки хвилястості поверхні встановлює три параметри: висоту хвилястості W_z , найбільшу висоту хвилястості W_{max} і середній крок хвилястості S_w (рис.1).

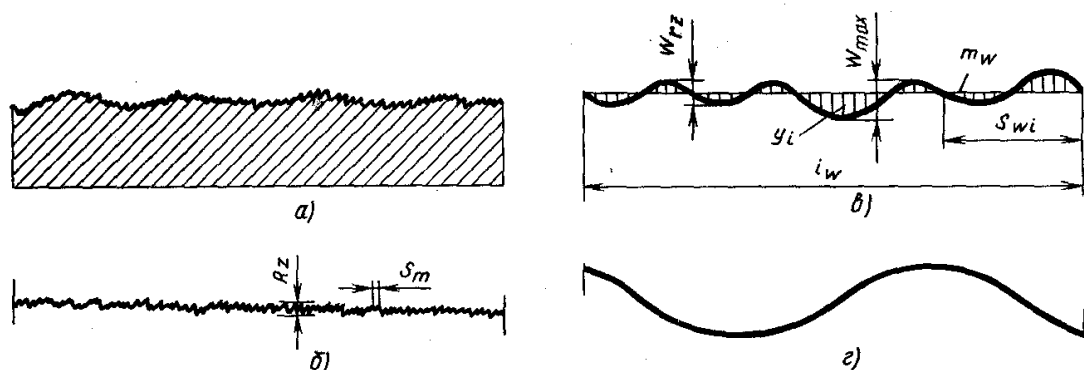


Рисунок 4.1 - Геометричні характеристики поверхні:

а - характер реальної поверхні; б - мікрогеометрія; в - хвилястість; г - макрогеометрія.

Фізико-механічні властивості поверхневого шару змінюються при виготовленні деталей, а потім під час експлуатації під дією силових, температурних і інших чинників.

Поверхня твердого тіла в порівнянні з його внутрішньою частиною має ряд особливостей. Будь-який атом, розташований усередині твердого тіла з ідеальною кристалічною решіткою, знаходиться в стані рухливої стійкої рівноваги, оскільки для нього в усіх напрямках інтенсивність силового поля однакова. У іншому положенні виявляються атоми, що знаходяться по поверхні: вони мають тільки односторонні зв'язки - із металом, тому їхній стан невірноважений, хитливий, і має надлишкову або вільну енергію в порівнянні з тим, що знаходяться усередині. Поверхня металу в реальних умовах адсорбує атоми елементів навколишнього середовища, покриваючись шарами адсорбованих газів, пар води, жирів і створюючи різні окисли.

У результаті дифузії в поверхневому шарі виникають хімічні й інші з'єднання основного металу з проникаючими ззовні речовинами. Дифузійна рухливість атомів може привести до перерозподілу концентрації легуючих елементів, у результаті чого в окремих випадках у поверхневому шарі зменшується утримання деяких легуючих елементів (обезвуглецювання поверхневого шару в сталях і зниження кількості хрому і алюмінію в жароміцних нікелевих сплавах при високих температурах нагрівання і ін.). Дифузія через поверхню робить сильний вплив на властивості металів і насамперед - на властивості їхніх поверхневих шарів. Це особливо характерно в тих випадках, коли температура в зоні обробки деталей висока (шліфування, швидкісне точіння, цементація, азотування й ін.). Під дією різних чинників у поверхневому шарі виникають залишкові напруги.

Залишковими напругами називають такі напруги, що існують і врівноважуються усередині твердого тіла після усунення причин, що викликають їхню появу.

По напруженості силового поля розрізняють наступні залишкові напруги:

- напруги першого роду, або макронапруження, що охоплюють область, розміри котрих порівнянні з розмірами деталі: вони мають орієнтацію, зв'язану з формою деталі, виникають від неоднорідності силового, температурного поля усередині деталі;
- напруження другого роду, або мікронапруження, які розповсюджуються на окремі зерна або групу зерен;
- напруги третього роду (субмікроскопічні), що відносяться до перекручувань атомного штахету; у цьому випадку термін «напруги» є умовними, іноді їх називають статичними перекручуваннями штахету або перекручуваннями третього роду.

Напруги другого і третього родів дезорієнтовані і не виявляються у виді короблення при розрізуванні деталі на частині.

Основними причинами виникнення мікронапруження є неоднорідність пластичної деформації і локальний, неоднорідний нагрів металу поверхневого шару, а при наявності перетворень - різниця об'ємів виникаючих структур. Мікронапруження - місцеві залишкові напруги в мікрозонах. Вони є наслідком фазових перетворень, зміни температури, анізотропії механічних властивостей

окремих зерен і розпаду зерен на блоки при пластичній деформації.

Причиною утворення перекручувань кристалічної решітки є, головним чином, дислокація і впровадження атомів.

Ступінь і глибина наклепу обумовлені пластичною деформацією поверхневого шару і безпосередньо зв'язаний із збільшенням дислокацій, вакансій і інших дефектів кристалічної решітки металу.

Відновлення деталей способом поверхневого пластичного деформування (ППД) засноване на здатності металів змінювати свою форму і розміри без руйнування під дією навантаження за рахунок залишкової (пластичної) деформації. При пластичній деформації об'єм деталі залишається без змін, а метал переміщується з однієї ділянки на іншу.

Зміцнення деталей способом пластичної деформації заснований на явищі наклепу, при якому пластичній деформації піддається шар металу деталі, що знаходяться на деякій глибині під її поверхнею. Твердість металу в зоні наклепу збільшується у 1,5-2 рази. Змінюються і фізико-механічні властивості не тільки наклепаного шару (знижується в'язкість, збільшується границя текучості), а також всієї деталі (в 1,5-2 рази збільшується зносостійкість, значно збільшується втомлювана міцність).

Способом пластичної деформації можна відновлювати ряд деталей як у холодному, так і в гарячому стані. Залишкова деформація в деталі, що відновлюється в холодному стані, відбувається внаслідок зрушень часток усередині зерен (кристалів) металу.

Для обробки деталей тиском у холодному стані необхідно додавати значні зовнішні навантаження. При відновленні деталей гарячим способом їх нагрівають до високих температур. У цьому випадку зусилля деформації значно знижується. Пластична деформація металу відбувається внаслідок зрушень цілих зерен металу. Нагрівання деталей приводить до зміни структури і механічних властивостей металу. Тому після відновлення тиском відповідальних деталей у нагрітому стані їх необхідно піддавати термічній обробці.

При відновленні та зміцненні деталей користуються різними методами обробки тиском.

Відповідно з ГОСТ 18296-72 методи ППД підрозділяють на статичні і ударні. При статичних методах обробки інструмент, робочі тіла і середовище впливають на оброблювану поверхню з визначеною силою P , відбувається плавне переміщення джерела впливу, що послідовно проходять усю поверхню, що підлягає обробці. При цьому інерційні сили не впливають істотно на ППД. До таких методів відносяться різні види вигладжування (рис. 4.2, а) і накочування (рис. 4.2, б), а також метод однократного обтиснення оброблюваної поверхні (рис. 4.2, в) без переміщення джерела впливу.

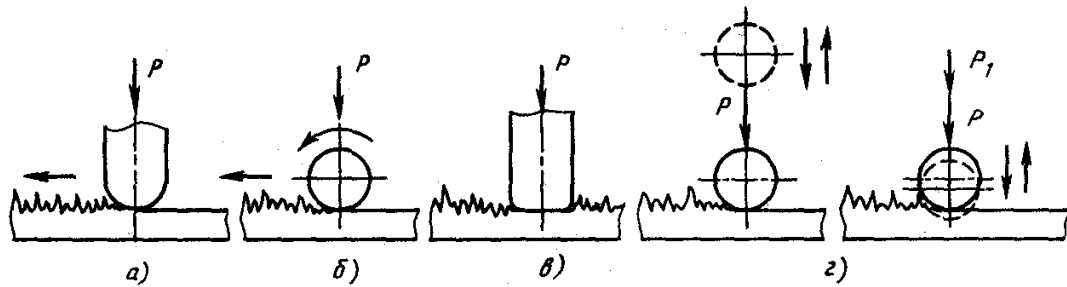


Рисунок 4.2 - Характер контактної взаємодії інструмента з оброблюваною поверхнею при різних методах ППД.

При ударних методах (рис. 4.2, г) інструмент, робочі тіла або середовище багаторазово впливає на всю оброблювану поверхню або на частину. При цьому сила впливу P в кожному циклі змінюється від нуля або від деякого значення P_1 до максимуму, а у випадку локального ударного впливу зона деформування може (як і в статичних методах) послідовно і рівномірно проходити всю оброблювану поверхню.

Інструментами при ППД можуть бути ролик, кулька з примусовою віссю обертання або без неї, гладилка, дорн з неріжучими кільцями, бойок-чекан і т.д. У якості робочих тіл при ППД можуть бути використані дріб, кульки зі сталі, скла, пластмаси та ін. Робочим середовищем при ППД можуть бути рідина, газ і їх суспензії з частками абразиву.

У табл. 4.1 приведені принципові схеми обробки за допомогою основних, найбільш поширених методів ППД. Статичні методи ППД забезпечують, як правило, меншу шорсткість поверхні зі сприятливою формою мікронерівностей; за допомогою ударних методів можна досягти більшого ступеня зміцнення, що характеризується ступенем підвищення мікротвердості, значенням стискаючих залишкових напруг і товщиною зміцненого шару. Це відноситься до статичних і ударних методів, близьких за питомим навантаженням і кратністю її прикладання. Однак обробка деякими ударними методами поступається за ступенем зміцнення обробкам статичними методами, наприклад, при віброударній обробці ступінь зміцнення буває звичайно меншою, ніж при накочуванні.

Вимоги (ГОСТ 2029-74) поділяються на вісім груп: вимоги до оброблюваних виробів, технологічних процесів обробки ППД, устаткування, оснастки, апаратури і інструмента, основних технологічних матеріалів, оброблюваних виробів, контролю обробки, техніки безпеки і виробничої санітарії при обробки ППД.

Необхідно враховувати, що обробка, заснована на пластичному деформуванні тонкого поверхневого шару, і має в порівнянні з обробкою точінням, шліфуванням, поліруванням, доведенням ряд переваг, у тому числі:

- зберігається цілісність волокон металу і утворюється дрібнозерниста структура-текстура в поверхневому шарі;
- відсутнє шаржування оброблюваної поверхні частинками шліфувальних кіл, полірувальних паст;
- відсутні термічні дефекти;
- стабільні процеси обробки, що забезпечують стабільну якість поверхні;

- можна досягати мінімального параметра шорсткості поверхні ($R_a=0,1...0,05$ мкм і менше) як на термічно необроблених сталях, кольорових сплавах, так і на високоміцних матеріалах, зберігаючи вихідну форму заготовки;
- можна зменшити шорсткість поверхні в декілька разів за один робочий хід;
- створюється сприятлива форма мікронерівностей з великою долею опорної площі;
- можна утворювати регулярні мікрорельєфи з заданою площею поглиблень для затримки мастильного матеріалу;
- створюються сприятливі стискаючі залишкові напруги в поверхневому шарі;
- плавно і стабільно підвищується мікротвердість поверхні.

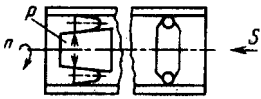
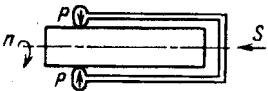
Зазначені переваги методів ППД забезпечують підвищення зносостійкості, опору втомленню, контактної витривалості і інших експлуатаційних властивостей оброблюваних деталей на 20 - 50%, а в деяких випадках - у 2 - 3 рази (за умови вибору в кожному конкретному випадку найбільше раціонального методу і призначення оптимальних режимів обробки).

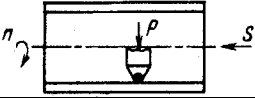
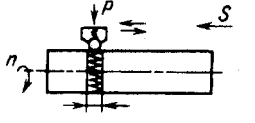
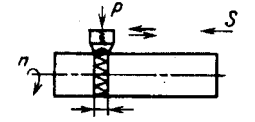
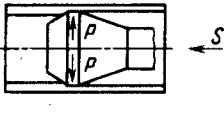
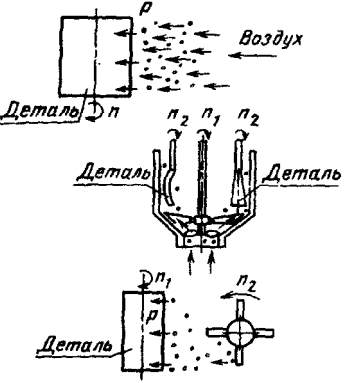
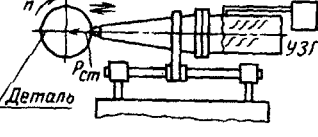

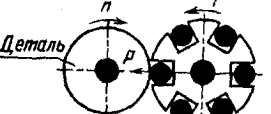
Поряд із забезпеченням високої якості поверхні ППД у багатьох випадках дозволяє механізувати ручну працю і підвищити продуктивність на остаточних операціях.

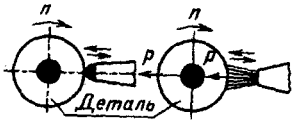
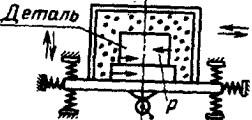
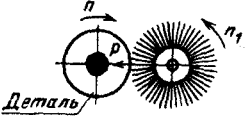
Необхідно також враховувати наступні особливості методів ППД:

- переважна більшість методів не підвищує геометричну точність, як правило, зберігається точність, досягнута на попередній операції;
- у зв'язку зі створенням корисних стискаючих залишкових напруг у поверхневому шарі при обробці тонкостінних і нерівножорстких деталей (товщиною 3 - 5 мм) може відбуватися деформація поверхні 5-10 мкм і більше;
- у зв'язку з пластичною течією металу при використанні деяких методів обробки ППД на кромках оброблюваних поверхонь утворюються рівномірні напливи металу товщиною 0,03 - 0,3 мм.

Таблиця 4.1 - Класифікація методів ППД

Метод, ескіз	Сутність методу, оброблювальні поверхні, обладнання, характер поверхні.
<i>Статичні методи</i>	
Зміцнювальне розкочування 	Кочення інструменту (ролик, куля) по оброблювальній поверхні, для плоских і випуклих поверхонь - обкочування, для внутрішніх поверхонь - розкочування. Поверхні тіл обертання типу втулок, валів і плоских поверхонь, $HRC \leq 45 - 55$.
Зміцнювальне обкочування 	Універсальне і спеціальне обладнання. Серійне і масове виробництво.
Вигладжування	Ковзання інструмента по поверхні деталі. Поверхні тіл обертання, $HRC \leq 70$. Тонкостінні і нерівножорсткі деталі.

	<p>Універсальне обладнання. Одиничне і серійне виробництво.</p>
<p>Вібраційне накочування</p> 	<p>Накочування або вигладжування при вібрації інструменту (куля, вигладжу-вальний наконечник) по твірній до поверхні деформованого металу. Поверхні тіл обертання і плоскі поверхні.</p>
<p>Вібраційне вигладжування</p> 	<p>Універсальне обладнання. Одиничне і серійне виробництво.</p>
<p>Поверхнєве дорнування</p> 	<p>Поступальне ковзання дорну по охоплю-вальній його поверхні. Деталі типу втулок і труб, HRC ≤ 40. Спеціальне або протяжне і пресове обладнання. Серійне і масове виробництво.</p>
<p><i>Ударні методи</i></p>	
<p>Дробострєнева обробка Дробометна обробка Гідродробострєнева обробка</p> 	<p>Удар дробу по деформуючому металу. Дріб - круглі тіла з різних матеріалів. У залежності від джерела кінематичної енергії (струму чи газу, рідина, газ з рідиною, обертання ротору (дробомету)) обробка називається гідрострєнева, дробометна і т.д. Поверхні різної конфігурації, HRC ≤ 55. Спеціальне обладнання. Серійне і масове виробництво.</p>
<p>Ультразвукова обробка</p> 	<p>До постійної сили додається сила ударів ультразвукових коливань. Поверхні тіл обертання. Універсальне обладнання, оснащене ультразвуковим генератором і голівкою. Одиничне і серійне виробництво.</p>
<p>Ударне розкочування</p> 	<p>Ролики створюють удар у момент проходження виступаючих елементів опори. Поверхні типу втулок і труб, HRC ≤ 50. Універсальне і спеціальне обладнання. Серійне і масове виробництво.</p>
<p>Відцентрова обробка</p> 	<p>Удар інструмента по оброблювальній поверхні під дією відцентрової сили. Поверхні тіл обертання і плоскі поверхні, HRC ≤ 50. Універсальне обладнання. Серійне і масове виробництво.</p>
<p>Зміцнююча чеканка</p>	<p>Ударні прикладання деформуючої сили при</p>

	<p>зворотньо-поступальному переміщенні інструменту. Поверхні тіл обертання і плоскі поверхні, HRC ≤ 50. Універсальне і спеціальне обладнання. Одиничне, серійне і масове виробництво.</p>
<p>Вібраційна ударна обробка</p> 	<p>Удар робочими тілами (дріб) закріпленої деталі в замкнутому об'ємі при його вібрації. Поверхні різної конфігурації, HRC ≤ 55. Спеціальне обладнання. Серійне і масове виробництво.</p>
<p>Обробка механічною щіткою</p> 	<p>Удар кінцями дроту механічною щіткою, що обертається. Поверхні різної конфігурації, HRC ≤ 55. Універсальне і спеціальне обладнання. Одиничне, серійне і масове виробництво.</p>

Необхідно враховувати, що обробка, заснована на пластичному деформуванні тонкого поверхневого шару, має в порівнянні з обробкою точінням, шліфуванням, поліруванням, доведенням ряд переваг, у тому числі:

- зберігається цілісність волокон металу і утворюється дрібнозерниста структура-текстура в поверхневому шарі;
- відсутнє шаржування оброблюваної поверхні частинками шліфувальних кіл, полірувальних паст;
- відсутні термічні дефекти;
- стабільні процеси обробки, що забезпечують стабільну якість поверхні;
- можна досягати мінімального параметра шорсткості поверхні ($R_a=0,1...0,05$ мкм і менше) як на термічно неопрацьованих сталях, кольорових сплавах, так і на високоміцних матеріалах, зберігаючи вихідну форму заготовель;
- можна зменшити шорсткість поверхні в декілька разів за один робочий хід;
- створюється сприятлива форма мікронерівностей з великою долею опорної площі;
- можна утворювати регулярні мікрорельєфи з заданою площею поглиблень для затримки мастильного матеріалу;
- створюються сприятливі стискальні залишкові напруги в поверхневому шарі;
- плавно і стабільно підвищується мікротвердість поверхні.

Зазначені переваги методів ППД забезпечують підвищення зносостійкості, опору втоми, контактної витривалості і інших експлуатаційних властивостей оброблюваних деталей на 20 - 50%, а в деяких випадках - у 2 - 3 рази (за умови вибору в кожному конкретному випадку найбільше раціонального методу і призначення оптимальних режимів опрацювання).

Поряд із забезпеченням високої якості поверхні ППД у багатьох випадках дозволяє механізувати ручну працю і підвищити продуктивність на остаточних операціях.

Необхідно також враховувати наступні особливості методів ППД:

- переважна більшість методів не підвищує геометричну точність, звичайно зберігається точність, досягнута на попередній операції;
- у зв'язку зі створенням корисних стискальних залишкових напруг у

поверхневому шарі при опрацюванні тонкостінних і нерівножостких деталей (товщиною 3 - 5 мм) може відбуватися деформація поверхні 5 - 10 мкм і більш;

- у зв'язку з пластичною течєю металу при використанні деяких методів опрацювання ППД на кромках оброблюваних поверхонь утворюються рівномірні напливи металу товщиною 0,03 - 0,3 мм.

4.2 Явища, що відбуваються у поверхневому шарі при обробці деталей ППД

Поверхневий шар при обробці деталей ППД формується в результаті складних взаємозалежних явищ, що відбуваються у зоні деформування і прилягаючих до нього зонах: багатократних пружних і пластичних деформацій, зміни міцних і пластичних властивостей металу, тертя, теплові процеси, зміни мікро- і макроструктури, мікрогеометрії самої поверхні й ін.

Основні параметри ППД наступні: пружна і пластична деформація у вогнищі деформування, площа контакту інструмента з оброблюваною поверхнею, сила впливу на інструмент, що виникають під дією цієї сили, і кратність прикладання сили.

Як при статичному, так і при ударному впливі на оброблюваній поверхні в початковий момент утвориться відбиток від інструмента, що потім перетворюється у примкнуту один до одного слід або серії відбитків. При навантаженні твердої кулі статистичною або ударною силою спочатку відбувається пружна деформація, а потім пластична. Внаслідок виникаючих пластичних деформацій на поверхні оброблюваної деталі з'являються залишкові напруги у виді відбитка (поглиблення) діаметром d_1 . Пластична деформація спостерігається також і під відбитком, рівномірно розповсюджуючись на визначену глибину (зона наклепу).

Глибина наклепу h пропорційна глибині відбитка h_1 , тобто $h = mh_1$. Для різних умов обробки коефіцієнт $m = 2 \dots 20$. Глибина наклепу h зв'язана із силою деформування P співвідношенням $h = \sqrt{\frac{P}{2\sigma_T}}$, де σ_T - межа текучості матеріалу.

Для конструкційних сталей із похибкою не більше $\pm 10\%$, справедливо співвідношення $\sigma_T = \frac{HB}{3}$, $h = \sqrt{\frac{3P}{HB}}$. Багаторазове прикладання одного і того ж статичного навантаження при втисканні кулі в одне і теж місце не приводить до помітного збільшення розмірів відбитка. Глибина наклепаної зони, отриманої при ударному втисканні кулі, практично дорівнює глибині наклепаної зони, отриманої при статичному однократному втисканні кулі, за умови рівності діаметрів відбитка. Тому залежність параметрів від глибини наклепаного шару для умов статичного втискання можуть бути застосовані для ударного завантаження.

При обробці ППД у результаті деформування поверхневого шару металу і роботи тертя утворюються теплота, що нагріває оброблювану заготовку, інструмент і робочі тіла, а також навколишнє середовище. При інтенсивних режимах обробки локальні ділянки поверхневих шарів нагріваються до різної температури: при

обкатуванні - до 573-673⁰К, при вигладжуванні до 873-973⁰К, при ударних методах - до 1073-1273⁰К.

Такий нагрів може викликати термопластичне деформування й інші явища, що знижують ефект зміцнення. Термопластичне деформування приводить до різкого зниження залишкових стискаючих напружень на поверхні, а в деяких випадках - до перетворення їх до розтягуючих напружень. Можуть утворюватися також вторинні структури, що знижують експлуатаційні властивості поверхні. Стиги структур є концентраторами напруг, що приводить до зародження втомлюваних тріщин. Необхідно встановлювати такі тиски і швидкості обробки конкретних матеріалів, підвищення конкретних матеріалів, що не викликають підвищення температури поверхні більш припустимої.

Обробка ППД супроводжується складними структурними і фазовими перетвореннями, характерними для формування поверхневого шару. У початковий момент відбувається дроблення зерен металу на блоки (полігонізація) і утворюється мозаїчна структура. Далі внаслідок посилення розвитку зрушень по площинах ковзання утворюються нові значно подрібнені зерна. При цьому кристаліти втрачають свою глобоїдну форму, сплющуються, витягаються в напрямку деформування. Різко змінюється співвідношення їх розмірів, утворюється упорядкована орієнтована структура волокнистого характеру з анізотропними механічними властивостями, коли пластичність уздовж волокон вища, ніж у поперечному напрямку.

Основною причиною зміцнення є лавиноподібний розвиток дислокацій - дефектів кристалічної решітки металу, що скопичуються поблизу ліній зрушень, і наступна їх зупинка перед різного роду перешкодами, що утворюються в процесі деформування (перетини дислокацій, траєкторії руху яких перетинаються між собою під деяким кутом; смуги деформування і т.д.) або існували до цього (міжкристалічні граничні шари, скупчення атомів домішок, елементи другої фази і т.д.). Дроблення на блоки об'ємів металу, укладених між лініями ковзання і накопичення на них продуктів руйнації кристалічної решітки сприяє збільшенню нерівностей по площинах ковзання, а отже, і зміцненню.

При збільшених силових параметрах обробки може відбуватися перенаклеп, у результаті якого в поверхневому шарі з'являються небезпечні мікротріщини, намічається утворення частинок металу, що відшаровуються, поверхневі зерна сплющуються так, що стають майже нерозрізненими. Різко збільшується шорсткість поверхні. Наклеп металу можна частково або цілком зняти шляхом відпалу. Перенаклеп - незворотній процес, при котрому нагрів не відновлює вихідну структуру металу і його механічні властивості.

4.3. Галузь раціонального застосування різних методів ППД

Методами ППД обробляють найбільш навантаженні деталі машин і механізмів, від працездатності яких залежать надійність і довговічність виробів у цілому.

З тисячі найменувань деталей у машині декілька десятків або декілька штук деталей необхідно відновлювати цими методами. Основні деталі можна згрупувати таким чином:

- деталі, що працюють в умовах знакозмінних навантажень, що викликають втомлювальні руйнації (торсіони, силові болти, балансири, вилки, лопатки, колінчасті і кулачкові вали, крильчатки, шатуни, шестерні, лонжерони, лопати, пружини, напіввісі, диски);
- деталі, що працюють в умовах абразивного зношування (пальці трака, дифузори, крильчатки, гальмові диски і барабани, колеса, опорні ролики, робочі деталі сільськогосподарських, землерийних і інших машин);
- деталі, що працюють в умовах окисного зношування (шийки колінчастих валів, циліндри, підшипники ковзання);
- деталі манжетних ущільнень, до герметичності і зносостійкості яких пред'являються високі вимоги (вали, втулки, осі, штоки);
- деталі, які контактують з газовим потоком, що має високі швидкості, температуру і тиск (труби, раструби, лопатки і диски турбін, камери);
- деталі, що працюють в умовах контактної-втомлювальних напружень (бігові доріжки підшипників, цапфи шестерень, опорні шийки, хрестовини, поворотні кулаки);
- деталі інструментального виробництва, що працюють у важких умовах тертя ковзання (валки холодного прокатування, пуансони, матриці, протяжки).

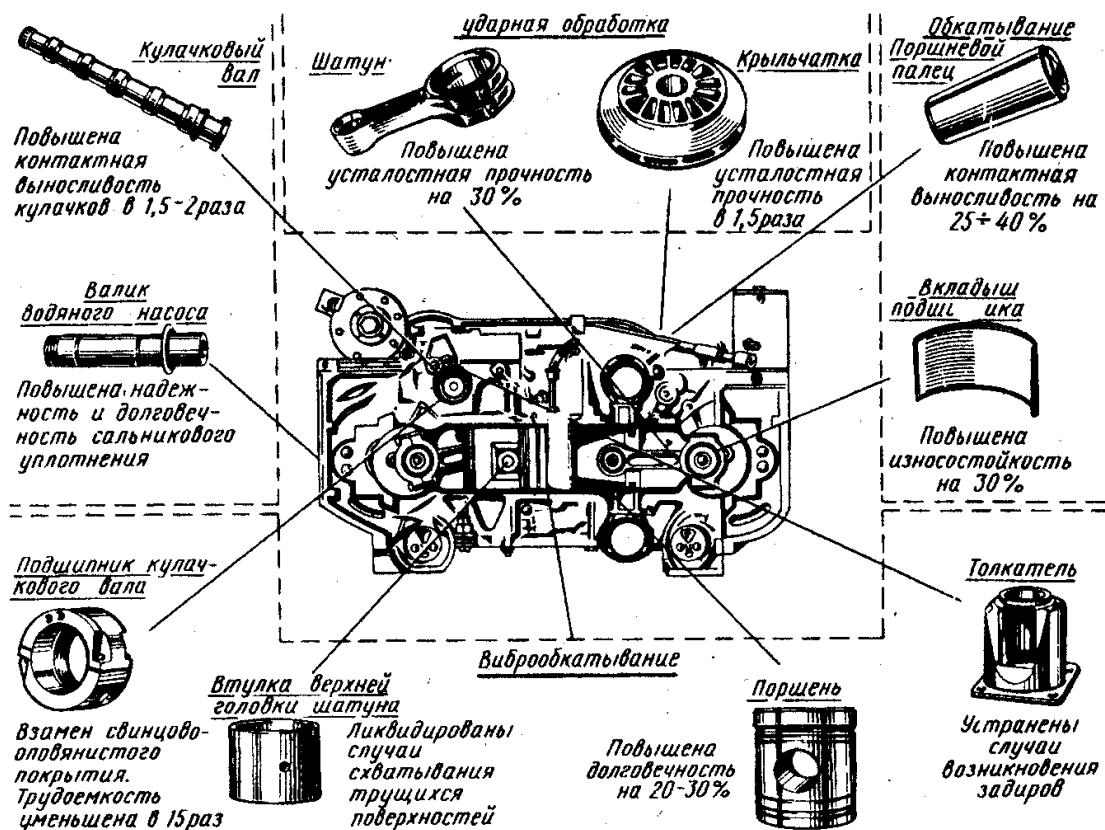


Рисунок 4.3 - Приклади застосування методів ППД для зміцнення деталей вантажного автомобіля.

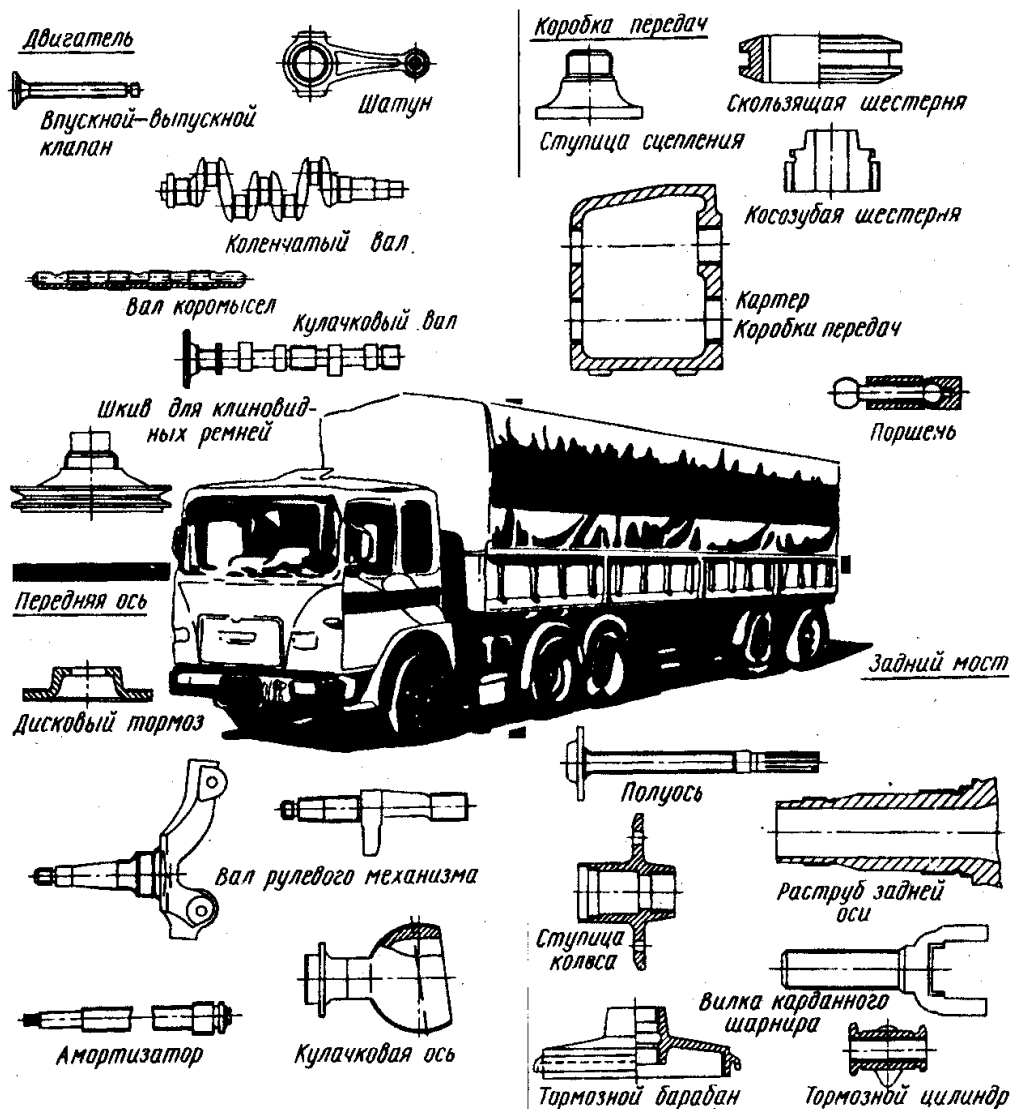


Рисунок 4.4 - Приклади застосування методів ППД для зміцнення деталей дизельного двигуна

Крім того, методами ППД ефективно зміцнюють деталі, схильні корозійно-втомлюваного впливу, фретінг-корозії, ударних навантажень, кавітаційному впливу і інших видів і умовах навантаження.

У залежності від розмірів, конфігурації, матеріалу деталі, призначення обробки, серійності виробництва й інших чинників у кожному конкретному випадку вибирають оптимальніший метод ППД.

У багатьох випадках доцільно застосовувати накочування (розкочування, обкатування), діамантове вигладжування, віброударну обробку дробом, а також вібраційне обкатування (вібровигладжування). Ці методи універсальні, вони доповнюють один одного і у комплексі забезпечують зміцнення найрізноманітніших деталей.

Циліндричні, конічні і інші зовнішні і внутрішні поверхні правильної геометричної форми твердістю $HRC < 45-50$ ефективно обробляти накочуванням роликів або кульковим інструментом, а поверхні твердістю $HRC > 50$ методами

діамантового вигладжування. Діамантове вигладжування в порівнянні з накочуванням має істотно меншу продуктивність, однак має більшу універсальність і дозволяє обробляти маложорсткі і нерівножорсткі деталі. Зусилля при діамантовому вигладжуванні 100 – 200 кН, в той час як у накочуванні воно складає 10 - 100 кН.

Складні для обробки переривчасті поверхні, тобто геометрично правильні поверхні, що мають поглиблення у виді отворів, шпоночних канавок, проточок і ін., а також глибокі отвори.

Для здійснення накочування і алмазного вигладжування складних поверхонь, у порівнянні з обробкою простих поверхонь, необхідно додатково вирішити ряд технологічних і конструкторських задач, зв'язаних із створенням інструмента спеціального профілю, що деформує, із необхідністю огинати оброблювану поверхню по криволінійній утворюючій і орієнтувати інструмент певним чином, із необхідністю змінювати під час обробки діаметр і деякі інші розміри пристрою для накочування і діамантового вигладжування і т.д.

Деталі більш складної конфігурації (пружини, ресори, шатуни, лопатки) неможливо обробляти накочуванням і алмазним вигладжуванням. Їх доцільно зміцнювати віброударним методом або обробкою дробом. Однак енергетичні витрати на обробку цими методами в 2-3 рази вищі.

Для підвищення довговічності деталей, що піддаються зношуванню, а також схопленню металу на поверхні створюють регулярний мікрорельєф шляхом вібраційного накочування (вібраційного вигладжування).

Накочування, вібраційне вигладжування і алмазне вигладжування виконують звичайно на універсальних металорізних верстатах за допомогою нескладних пристроїв, а об'ємну віброударну обробку і обробку дробом - на спеціальних вібромашинах і установках.

Вимоги до технологічності конструкцій деталей, оброблюваних ППД на універсальних і спеціальних верстатах, приблизно такі ж, як і вимоги до деталей, що піддаються механічній обробці. Для обробки дробом (дробеударною), вібраційною ударною обробкою й інших подібних методів характерний одночасний вплив на всю зовнішню або внутрішню поверхню.

Ефективність зміцнення залежить від матеріалу, структури, виду напруженого стану, форми і т.д. Велику роль відіграє вибір методу і режиму зміцнення. Тому при впровадженні методів ППД у виробництво попередньо проводять дослідження і випробування. Максимального ефекту досягають, якщо враховують конкретні умови експлуатації деталей.

Працездатність деталей підвищують застосуванням комбінованої обробки різними методами ППД, а також обробкою методами ППД у поєднанні з іншими методами зміцнення.

Наприклад, обробка поверхні методами ППД під хромування забезпечує найвищу якість і міцність хромового покриття. Циліндричні поверхні тертя деталей із титану можна зміцнювати комбінованим способом: спочатку електропроменевим мікролегуванням, тобто насиченням і покриттям поверхні надтвердими матеріалами, а потім жорстким обкатуванням, що забезпечує одержання необхідної точності і

шорсткості поверхні, а також знижує шкідливий вплив мікролегування на опір втоми.

4.4. Матеріали для інструментів і робочих тіл

Матеріали для інструментів і робочих тіл повинні мати більш високі фізико-механічні властивості, ніж матеріали оброблюваних деталей. Вони повинні володіти наступними основними властивостями: високою твердістю; спроможністю чинити опір стиранню й ударним впливам при обробці ударними методами ППД; високою межею тривкості на стиск; низьким коефіцієнтом тертя по металу; великою теплопровідністю і теплоємністю; спроможністю обробляти поверхню до одержання мінімальної шорсткості; високою антиадгезійною спроможністю. Особливості кожного методу ППД відображені також у вимогах до інструментів і робочих тіл.

Кульки і ролики, що використовуються для ППД, виготовляють із підшипникових сталей ШХ15, ШХ15СГ, ШХ20СГ, 18ХГТ, 20Х2Н4ВА; в особливих випадках можна застосовувати корозійностійкі сталі 11Х18М, 95Х18, а також теплостійку вольфраміву сталь 8Х4В9Ф2.

Інструмент для поверхневого дорнування, ролики, гладилки та інші інструменти виготовляють із твердих сплавів. Тверді сплави, володіючи низкою переваг, у той же час гірше сприймають ударні і згинаючі навантаження в порівнянні з інструментальними і підшипниковими сталями. Застосовують наступні тверді сплави у залежності від експлуатаційних навантажень:

- при зношуванні, відсутності ударних навантажень ВК6;
- при зношуванні з легким ударами ВК8;
- при зношуванні з важкими ударами ВК10;
- при ударі слабкої інтенсивності ВК15;
- при ударі помірної інтенсивності ВК20;
- при важких ударних навантаженнях ВК25;

У ГОСТ 3882-74 і ГОСТ 10284-84 дані рекомендації до застосування твердих сплавів для інструментів, що використовуються на операціях холодного висаджування і витиснення, які можна враховувати і при створенні інструмента для ППД: стійкість інструментів із сплаву ВК20К у декілька разів вища стійкості інструментів із сплаву ВК20, що працюють в умовах силового стирання, а інструменти зі сплавів ВК10К і ВК20КС мають втомлювану міцність у 2 - 3 рази більшу, ніж інструменти зі сплавів ВК10 і ВК20.

Алмаз має кращі фізико-механічні властивості, ніж інші матеріали. Для виготовлення вигладжувачів використовують природні і синтетичні алмази. Синтетичні алмази розміром зерна більш 3 мм у виді полікристалів одержали назву балас (АСБ) і карбонідо (АСПК) за аналогією з найменуваннями відповідних природних діамантів. Особливість їхньої структури забезпечує ізотропність фізико-механічних властивостей, що дає можливість інструменту працювати з перемінними навантаженнями. Алмази АСБ мають кулевидну форму з чітко вираженою радіально-променистою структурою, розміри їх зерен досягають 6 мм.

Алмази АСПК мають форму циліндра діаметром 2 - 4,5 мм і висотою 2 - 5 мм. Структура їх також радіально-променева, але більш досконала.

Для обробки дробом і вібраційної ударної обробки використовують сталеві і скляні кулі, дріб різної грануляції, виготовлений з різних матеріалів. Головним чином, застосовують дріб із відбіленого чавуну наступного складу, %: 3,26 С; 0,57 Mn; 2,72 Si (HRC 62 - 64).

Для виготовлення дротових щіток використовують в основному вуглецевий пружний дріт діаметром 0,2 - 1,0 мм (ГОСТ 3875 - 83, ГОСТ 9389 - 75).

4.5 Схема процесу обкатування поверхні кулею

Кульковий інструмент можна класифікувати за наступними ознаками: характером оброблюваної поверхні - для зовнішніх циліндричних, для внутрішніх циліндричних і для плоских; числом деформуючих елементів - однокульковий і багатоккульковий; характером створення деформуючої сили - пружний і жорсткий (деформуюча сила у пружному інструменті створюється за допомогою тарованої пружини, пневматичним або гідравлічним способом, у жорсткому інструменті - завдяки натягу між інструментом і оброблюваною поверхнею). Кульовий інструмент застосовують для обробки спеціальних або складно профільних поверхонь: сфер, галтельних переходів, жолобів підшипників і т.д.

У залежності від характеру оброблюваної поверхні утворюється визначена форма плями контакту, звичайно це правильна геометрична фігура (еліпс або коло), перекручена пружною і пластичною деформаціями металу.

Для зовнішньої циліндричної поверхні (рис. 4.2, а) необроблена поверхня знаходиться ліворуч від лінії $M_1KK_1M_2$, а оброблена - праворуч. При статичному втисканні формою контакту є еліпс із півосями a , b . Під час обкатування зі швидкістю V і подачею S перед кулею утворюється пластична деформована поверхня. Тому передня частина плями контакту обмежена лінією KK_1K_2 , близької до дуги еліпса, але частково вихідної за неї через утворення стоячої хвилі, що охоплює сферичну поверхню кулі. Задня частина плями контакту обмежена лінією KK_3MK_2 , при цьому ділянки KK_3 , K_3M , MK_2 є кривими, близькими до дуг відповідних еліпсів. Тому, сумарну площу плями контакту можна з достатньою точністю визначити з геометричних співвідношень, ця площа на 30 - 50% менше площі еліпса з півосями a , b . Площа контакту більш точно визначають за формулою

$$F_H = \frac{8}{3}R \sqrt{\frac{R_D}{(R_D \pm R)}} \cdot \left(\sqrt{(h_1 + \omega)\omega} + \omega + \frac{1}{4}\sqrt{\omega h_1} \right), \quad (4.1)$$

де R - радіус кулі; R_D - радіус деталі; h_1 - залишкова деформація; ω - місцева пружна деформація деталі й інструмента. Розмір h_1 визначають експериментально, а ω розраховують за формулами теорії пружності. Знак «+» у знаменнику першого підкореневого виразу - для випадку обробки зовнішніх циліндричних поверхонь, а знак «-» - для обробки отворів.

При обробленні різних матеріалів на оптимальних режимах (тиск 1200-3000 МПа) $F_H=0,4...1,2 \text{ мм}^2$.

Співвідношення сил при обкатуванні (рис. 4.5, в) наступне: $P_z/P=0,07...0,12$; $P_x/P_y=0,05...0,1$

Динаміка формування мікропрофілю поверхні в напрямку подачі (рис. 4.5, б, I-IV) за кожний наступний оборот заготовки обумовлена пластичною і пружною

течею металу. Заштрихованими областями показані зони пластичної течі металу в напрямку, протилежній подачі.

Параметр шорсткості R_z , одержаний після обкатування інструментом радіусом 1,5 - 2,0 мм із $S=0,04...0,4$ мм/об, можна розрахувати за формулами (рис.4.5, г):

$$R_z \approx R - \sqrt{R^2 - \frac{S^2}{4}}; R_z \approx \frac{S^2}{8R} \quad (4.2)$$

З урахуванням пружної деформації наступна формула має вигляд

$$R_z = \left[\frac{S^2}{(8R)} - (\omega_C - \omega_B) \right], \quad (4.3)$$

де ω_C і ω_B - пружна деформація відповідно в точках С і В.

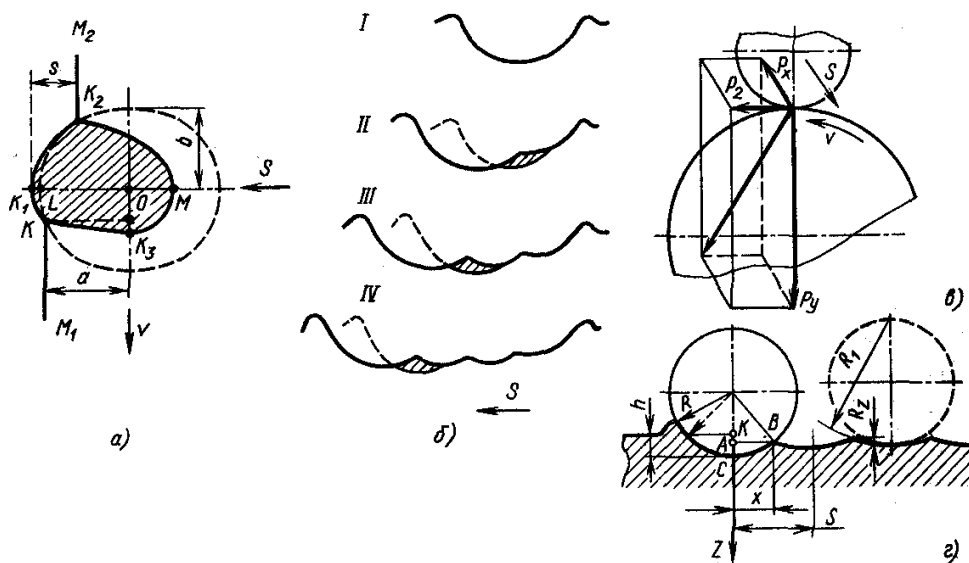


Рисунок 4.5 - Обкатування поверхні кулею: а - пляма контакту інструмента з поверхнею; б - схема формування мікрогеометрії поверхні, що обкатується, в напрямку подачі; в - схема сил; г - схема контакту для розрахунку розміру R_z ; К - рівень вихідної поверхні; АВ - рівень мікронерівностей обкоченої поверхні; R_1 - радіус западин обкоченої поверхні; h - глибина впровадження інструменту.

4.6 Технологічне оснащення, яке застосовується при обкатуванні кулею

Особливості кульових пристроїв: використання стандартних куль із високою точністю обробки і якістю поверхні; відсутність матеріальної осі обертання куль і самовстановленість їх щодо оброблюваної поверхні під дією сил обкатування і тертя; відсутність або незначне прослизання куль; незначні сили обробки, зв'язані з контактом інструмента та оброблюваної поверхні; менша подача і продуктивність обробки, ніж при використанні роликів пристроїв. Область раціонального застосування кульових пристроїв - обробка маложорстких і нерівножорстких деталей, у тому числі деталей із високою поверхневою твердістю.

Зовнішні циліндричні поверхні обробляють однокульковими і багатоккульковими обкатниками різних типів. Сила тертя між деформуючою кулею і опорною поверхнею повинна бути менша за сили тертя між кулькою й оброблюваною поверхнею. Для цього застосовують наступні види опор: один, два

або три стандартних шарикопідшипника, розташованих під кутом 90° друг до друга (рис. 4.6, а); опорні шайби з фторопласта або іншого антифрикційного матеріалу (рис. 4.6, б, в) (у деяких випадках опори можуть бути з високоякісної загартованої сталі у вигляді добре відполірованої лунки); камеру з рідиною, повітрям або іншим спеціальним середовищем.

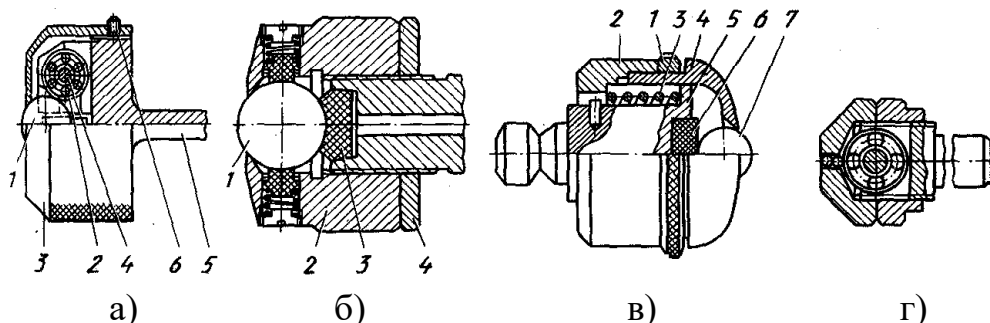


Рисунок 4.6 - Кулькові головки: а - з опорою на шарикопідшипники; 1 - кулька; 2 - шарикопідшипник; 3 - кришка; 4 - вісь; 5 - корпус; 6 - штифт; б - з опорою на фторопластові вставки; 1 - кулька; 2 - корпус; 3 - фторопластова опора; 4 - гайка; в - із компенсатором; г - із проміжною кулькою.

Малий коефіцієнт тертя фторопласту (частіше усього ФП-4 і ФФП-3) і його висока зносостійкість забезпечує надійну роботу фторопластових опор куль діаметром більш 10 мм при обкатуванні і вібророзкочуванні. При цьому спрощується конструкція державки і зменшуються її розміри.

Загальним недоліком кулькових державок із сепаратором, що запобігають випадання кулі й обмежують його рух щодо корпусу державки в напрямку подача, є збільшення зазору між кулею і стінками робочого отвору сепаратора внаслідок зношування його і опори кулі, що погіршує умови протікання процесу, а при вібророзкочуванні спотворює профіль синусоїдальної канавки, що витискується.

У державки, яка показана на рис. 4.6, в, цей недолік усунутий таким чином. Зростання зазорів між робочою поверхнею сепаратора 4 і кулею 7 у результаті зношування опори 6 і сепаратора 4 компенсується підтисканням втулки 5, що утримує фторопластову або іншу опору пружиною 3, натяг якої створюється гайкою 1. Після установки гайки 1 у необхідне положення вона фіксується контргайкою 2.

Конструкція кульової головки з робочим і опорним кулями діаметром 2 мм показана на рис. 4.6, г. Опорна куля є свого роду проміжною опорою, тому що без неї, навіть при використанні шарикопідшипників мінімальних розмірів, не вдасться помістити робочу кулю і шарикопідшипник у сепаратор.

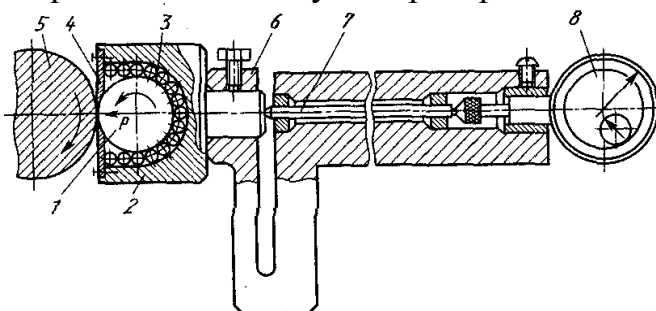


Рисунок 4.7 - Однокульковий обкатник з опорою кулі на кулі меншого діаметра: 1 - куля; 2 - корпус, 3 - кулі меншого діаметра; 4 - кришка; 5 - оброблювана заготовка; 6 - пружна державка; 7 - стрижень; 8 - індикатор.

Застосовують однокулькові обкатні пристрої прямої дії з пружним підтисканням деформуючої кулі (рис. 4.8, а) і жорсткого закріплення (рис. 4.8, б), а також важільної дії (рис. 4.9). Спеціальні конструкції пристроїв обумовлені визначеними обмеженнями або особливими вимогами.

У якості устаткування для накочування поверхонь кульковим інструментом можуть бути використані будь-які металорізні верстати: токарні, фрезерні, стругальні і ін. (рис. 4.7). Застосовують також спеціальні верстати, наприклад, верстат для безцентрового обкатування циліндричних деталей (рис. 4.8), який працює в автоматичному режимі.

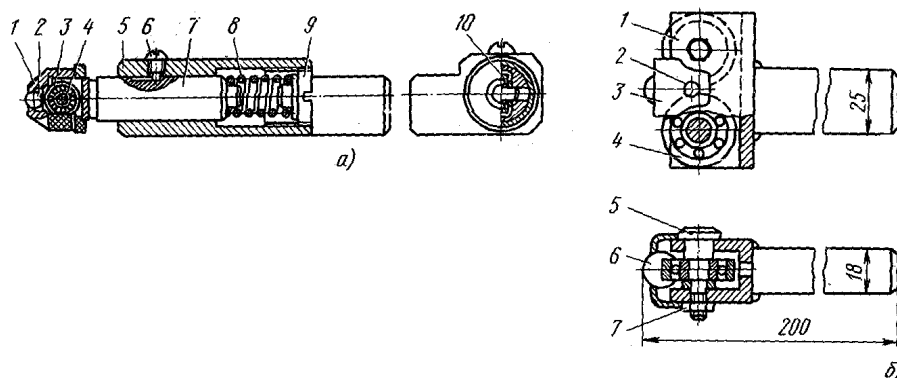


Рисунок 4.8 - Однокулькові обкатники: а - із пружним підтисканням деформуючої кулі: 1 - сепаратор; 2 - куля; 3 - шарикопідшипник; 4 - вісь; 5 - корпус; 6 - упор; 7 - шток; 8 - пружина; 9 - гвинт підтиску пружини; 10 - шайба; б - із жорстким підтисканням деформуючої кулі: 1 - корпус; 2 - гвинт; 3 - сепаратор; 4 - шарикопідшипник; 5 - вісь; 6 - шток; 7 - гайка.

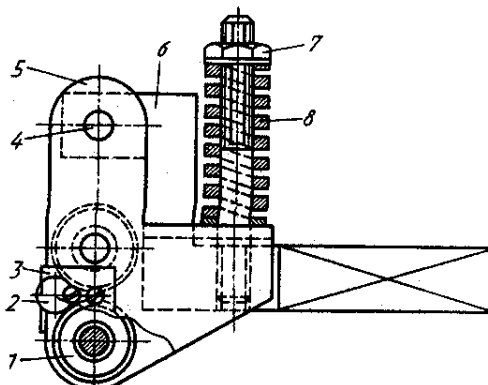


Рисунок 4.9 - Однокульковий обкатник важільної дії для обробки деталей із заклепаних сталей: 1 - шарикопідшипник; 2 - куля; 3 - сепаратор; 4 - вісь; 5 - державка; 6 - корпус; 7 - гайка; 8 - пружина.

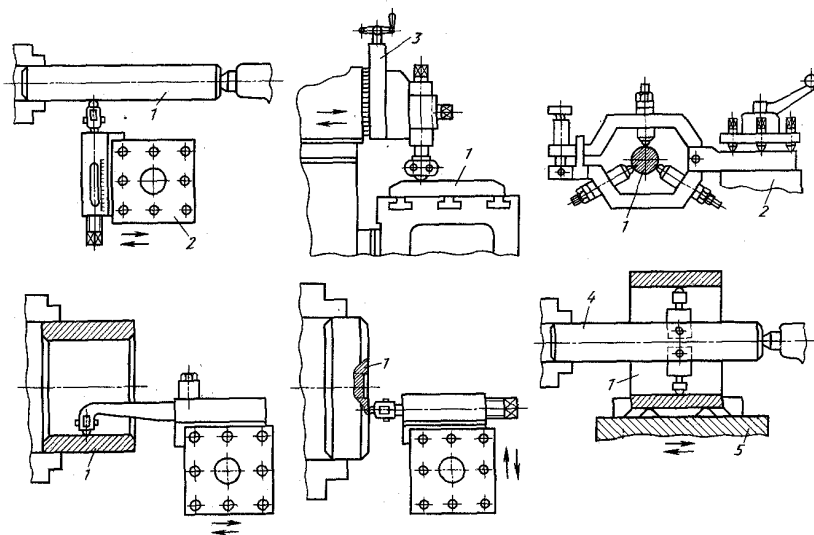


Рисунок 4.10 - Схема обточування деталей на різних металорізальних верстатах: 1 – деталь; 2 – різцетримач; 3 – повзун; 4 – борштанга; 5 – стіл розточного верстату.

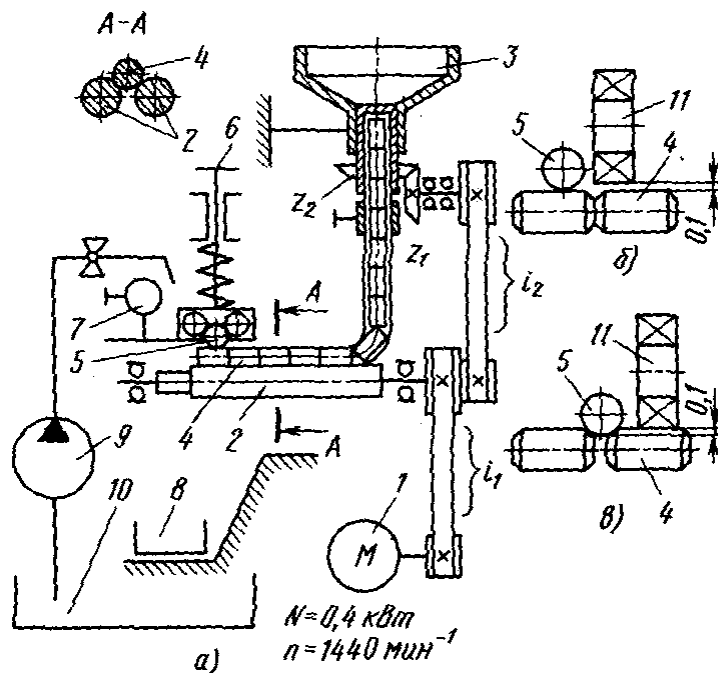


Рисунок 4.11 - Верстат-автомат для обточування циліндричних деталей: а – схема верстату; б, в – схеми підтискання і обробки деталей.

Від електродвигуна 1 (рис. 4.11, а) через клинопасову передачу i_1 доводяться до обертання валики 2. Через другу клиноремінну передачу i_2 і конічні шестерні z_1 і z_2 обертання передається механізму завантажувального пристрою, що забезпечує безупинну подачу роликів із бункера 3 на валки 2. Оброблювані ролики 4, обертаючись між валиками, переміщуються до робочої зони і затягуються під деформуючі кулі 5, які встановлені в обкатаному пристрої 6. Обкатування здійснюється кулею 5 під дією тарованої пружини типу 7. Оброблені ролики накопичуються в ємності 8. Обкатування виконується з застосуванням змащувально-охолоджувальної рідини (ЗОР). Одночасно з електродвигуном включається масляний насос 9, що подає в робочу зону ЗОР із резервуара 10. Для регулювання подачі ЗОР передбачений вентиль.

Технічна характеристика верстата для бесцентрового обкатування

Частота обертання валків, хв.	706
Кут нахилу валиків, град.	0 - 10
Сила обкатування, Н	250 - 2000
Подача, мм/об	0,1 - 0,2
Діаметр, мм, деформуючої кулі	5 - 6
деталі, що обкатується	8 - 12
Довжина оброблюваних деталей, мм	8 - 20
Машинний час обробки однієї деталі, с	1,5 - 5,0
Потужність електропривода, кВт	0,6
Габаритні розміри, мм	700×400×900

Ролики, що надходять із бункера на валики 2, які обертаються, одержують осьове переміщення внаслідок нахилу осі обертання одного валика щодо осі іншого на кут α , що приводить до виникнення осьової сили. Подача чергового ролика в зону обкатування відбувається таким чином. На обкатному пристрої змонтований кульковий підшипник 11, нижня точка якого розташована на 0,1 мм вище нижньої точки деформуючої кулі 5 (рис. 4.11, б). Внаслідок наявності фасок у торців роликів, у момент закінчення обкатування, куля 5 одночасно з підшипником 11 опускається доти, поки підшипник не торкнеться наступного ролика 4 (рис. 4.11, в). Завдяки цьому, запобігається можливий зсув ролика убік, протилежний подачі. Під дією осьової сили відбувається затягування ролика під кулю, що деформує. Силу затягування і швидкість подачі регулюють, змінюючи кут нахилу валику.

Режими обкатування роликів діаметром 8 мм наступний: $d_{\text{ш}}=5,0$ мм; $P=600$ Н; $S=0,12$ мм/об; $V=58$ м/хв; один робочий хід U результаті обробки параметр шорсткості знижується до $R_a=0,1\ldots 0,16$ мкм, твердість підвищується з HRC 55 – 57 до HRC 58 – 62, глибина зміцнення - 0,6 - 0,8.

4.7 Завдання до виконання практичного заняття

1. Ознайомитися з устаткуванням і оснащенням, яке використовується при відновленні і зміцненні поверхні заготовки обкатуванням кулею.
2. Зробити тарування пружного елемента кулькового обкатника.
3. Зробити вимір діаметра заготовки і визначити шорсткість її поверхні до і після обкатування.
4. Розрахувати і вибрати режими обкатування в залежності від заданої глибини наклепу і необхідного параметру шорсткості.
5. Побудувати графіки зміни діаметру заготовки і шорсткості в залежності від зусилля обкатування, подачі деформуючих елементів і числа проходів.

4.8. Об'єкти роботи, устаткування і інструмент

Токарно-гвинторізний верстат 1616, кульковий обкатник, динамометр стиску, оптиметр, еталони шорсткості або профілограф-профілометр, мікрометр, набір кінцевих мір, оправка зі зразками для обкатування.

4.9 Порядок виконання роботи

1. Зробити вимір оброблених зразків і визначити чистоту поверхні.
2. Зробити тарування пружного елемента кулькового обкатника і побудувати тарувальний графік.
3. Розрахувати глибину наклепу h по $h=1,5d$; площу контакту по (1) приймаючи місцеву пружну деформацію деталі і інструмента $\omega=0,005 - 0,010$ мм, розмір залишкової деформації $h=mh_1$, де $m=2...20$. З табл.4.2 вибрати необхідну подачу; розрахувати тиск інструмента в зоні контакту.
4. Обкатати поверхню зразків із різними зусиллями деформування і різного числа проходів.
5. Зробити вимір оброблених зразків. Визначити чистоту поверхні після обкатування.
6. Побудувати графіки зміни діаметра зразків і шорсткості в залежності від зусилля обкатування і кількості проходів.

Таблиця 4.2 - Подача в залежності від вихідного і необхідного параметрів шорсткості і діаметра кулі.

Параметр шорсткості, R_a , мкм		Подача, S (мм/об) при діаметрі кулі, мм				
необхідний	вихідний	6	10	22	40	100
0,4	3,2	0,20	0,25	0,35	0,50	0,80
0,2	1,6	0,14	0,20	0,25	0,35	0,60
0,1	1,6	0,10	0,15	0,20	0,25	0,40
0,05	0,8	0,07	0,10	0,12	0,20	0,30
0,025	0,8	0,05	0,06	0,09	0,12	0,20

4.10. Зміст звіту

1. Короткі теоретичні відомості.
3. Ескіз зразку з розмірами.
4. Ескіз застосовуваного кулькового обкатника.
5. Схема тарування пружного елемента кулькового обкатника і тарувального графіка.
6. Розрахунки і вибір параметрів обробки.
7. Графічні залежності зміни діаметра заготовки і шорсткості від зусилля обкатування і кількості проходів деформуючих елементів.
8. Висновки

4.11. Контрольні питання

1. Сутність способу відновлення деталей ППД.
2. Переваги і недоліки ППД.
3. Фізичні явища, що відбуваються у поверхневому шарі при ППД.
4. Особливості обкатування поверхні деталі кульковим інструментом.
5. Конструкції кулькових пристроїв, які використовуються при обкатуванні.

Навчально-методичне видання

Ремонт автомобілів

Методичні вказівки до виконання практичних занять з курсу „Ремонт автомобілів” для студентів спеціальності 274 „Автомобільний транспорт”. Кропивницький: ЦНТУ, 2022.- 64 с.

Укладачі: Осін Р.А., Шепеленко І.В., Красота М.В.

Комп'ютерний набір і верстка Осін Р.А., Красота М.В.