

СУЧАСНІ ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ МАТЕРІАЛІВ



Лабораторний практикум з дисципліни
для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
спеціальності «Матеріалознавство»

Хмельницький національний університет

СУЧАСНІ ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ МАТЕРІАЛІВ

*Лабораторний практикум з дисципліни
для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
спеціальності G8 «Матеріалознавство»*

*Затверджено на засіданні кафедри
трибології, автомобілів та матеріалознавства.
Протокол № 1 від 28.08.2025*

Хмельницький 2025

Сучасні відновлювальні технології матеріалів : лабораторний практикум з дисципліни для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності G8 «Матеріалознавство» / О. П. Бабак, М. О. Диха, А. А. Вичавка. Хмельницький : ХНУ, 2025. 42 с.

Укладачі: Бабак О. П., канд. техн. наук, доц.;
Диха М. О., канд. техн. наук, доц.;
Вичавка А. А., канд. техн. наук, ст. викл.

Відповідальний за випуск: Диха О. В., д-р техн. наук, проф.

Випусковий редактор: Яремчук В. С.

Технічне редагування і верстка: Карпанасюк В. П.

Макетування здійснено редакційно-видавничим відділом Хмельницького національного університету (м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1). Підп. 22.09.25. Зам. № 88е/25, електронне видання, 2025.

Вступ

Розвиток машинобудування, підвищення технічних вимог до надійності та довговічності деталей машин зумовлюють необхідність впровадження ефективних методів їх відновлення та зміцнення. Відновлювальні технології, які раніше розглядалися переважно як засоби ремонту, сьогодні стають невід'ємною складовою системи управління життєвим циклом виробів та ресурсозберігаючих стратегій у промисловості.

«Сучасні відновлювальні технології матеріалів» – важлива освітня складова професійної підготовки здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності G8 «Матеріалознавство».

Мета дисципліни – формування системних знань, вмінь і навичок щодо оцінювання впливу відновлювальних технологій на структуру та експлуатаційні властивості поверхневих шарів деталей машин з врахуванням сучасних методів відновлення зношених деталей машин, їх фізико-хімічні основ, технологічних принципів, особливостей застосування та оцінювання ефективності обробки.

Завдання дисципліни – формування умінь і навичок характеризувати класифікації та принципи вибору сучасних відновлювальних технологій, методи нанесення зносостійких покриттів і зміцнення поверхні, дослідження взаємодії покриттів з основним матеріалом; уміння оцінювати структуру та властивості відновлених поверхонь і обґрунтовано обирати технологію зміцнення залежно від умов експлуатації.

Після завершення вивчення дисципліни здобувач повинен вміти:

– характеризувати сучасні технології поверхневого зміцнення і відновлення матеріалів, включаючи фізико-хімічні основи, особливості взаємо-

дії матеріалів основи і покриття, принципи класифікації та вибору технологій (поверхнево пластична обробка поверхні, електроіскрова обробка, гальванічне хромування, використання полімерних матеріалів, вібродугове і флюсове наплавлення тощо);

- оцінювати вплив обраних відновлювальних технологій на структуру та експлуатаційні властивості поверхневих шарів деталей машин за результатами використання методів інженерного аналізу;

- вибирати та обґрунтовувати доцільність використання конкретних відновлювальних технологій залежно від характеру зношування, умов експлуатації та вимог до функціонування елементів конструкцій;

- застосовувати методи мікроструктурного, технологічного та трибологічного аналізу для дослідження ефективності нанесення покриттів, встановлювати відповідність між параметрами процесу та отриманими властивостями;

- розробляти фрагменти технологічних процесів відновлення деталей, що включають підготовку поверхні, вибір електроду, режимів обробки, та здійснювати їх практичну реалізацію з дотриманням вимог охорони праці та безпеки;

- використовувати сучасне лабораторне обладнання (електроіскрові установки, мікроскопи, вимірювальні прилади) для проведення досліджень та контролю якості відновлених поверхонь;

- визначати ефективність застосованих методів і формулювати рекомендації щодо вдосконалення технологій.

Здобувач до виконання роботи має бути підготовлений, а саме: ознайомлений з темою, порядком виконання, відповідними теоретичними відомостями й методичними рекомендаціями до виконання роботи. Рівень готовності підготовки здобувача до виконання роботи перевіряється шляхом усного опитування викладачем на початку заняття. Здобувач, який не засвоїв потрібного теоретичного матеріалу, до виконання роботи не допускається.

Після виконання роботи здобувач складає звіт. Захист роботи проводиться під час наступного заняття у формі усного опитування, що забезпечує об'єктивне оцінювання рівня засвоєння навчального матеріалу, а також умінь критично мислити та аналізувати.

Для самоперевірки до кожної лабораторної роботи подано перелік контрольних питань. Здобувачі, які виконали всі заплановані лабораторні завдання та успішно їх захистили, допускаються до підсумкового семестрового контролю з дисципліни. У разі пропуску заняття з поважної причини його необхідно відпрацювати у термін, визначений викладачем.

Розподіл балів за лабораторні роботи і критерії оцінювання визначаються робочою програмою навчальної дисципліни.

Перед допуском до виконання лабораторних робіт здобувачі проходять інструктаж з охорони праці та техніки безпеки з обов'язковим підписом у відповідному журналі, що зберігається у відповідальній особи лабораторії.

Лабораторна робота 1

Відновлення деталей

методом пластичного деформування

Мета: формування практичних навичок розробляти і виконувати технологічний процес накатування зовнішньої поверхні кулькою, відновлення пружних властивостей пружини з дотриманням правил техніки безпеки та організації робочого місця, складати план операцій обробки поверхні і пружини, здійснювати контроль виконання режимів технологічних режимів з обробки деталей.

Матеріали та інструменти: токарно-гвинторізний верстат; набір накаток: кулькова жорстка, роликів жорстка і пружна, роликів для відновлення пружин, пристрій для кріплення пружин, твердомір ТШ-2, набір еталонів шорсткості, мікромір МК 50-2, пристрій для вимірювання пружності пружин.

Теоретичні відомості та методичні рекомендації

Надійність і довговічність роботи машин значною мірою залежить від якості поверхні деталей. При ремонті деталей широко застосовують методи чистової обробки металів пластичним деформуванням, накатування роликів і кульками, наклеп відцентровими зміцнювачами, дробоструминний наклеп, дорнування отворів, алмазне вигладжування. На відміну від термічного, хіміко-термічного, хімічного, електрохімічного та інших методів зміцнення методи механічного поверхневого зміцнення відрізняються простотою і доступністю для ремонтних підприємств, забезпечують високу точність і чистоту поверхні.

Суть процесу зміцнювального накатування (рис. 1.1) полягає у зминанні виступів мікронерівностей і заповненні впадин за рахунок тиску і переміщення одного або кількох кульок чи роликів по оброблювальній поверхні.

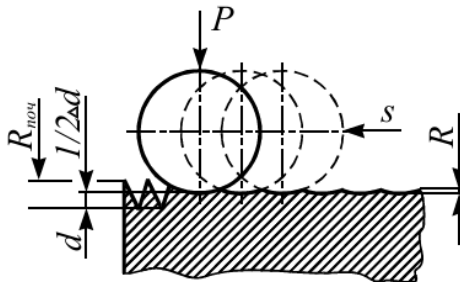


Рис. 1.1 – Схема деформування поверхневих нерівностей при накатуванні:
 d – діаметр деталі; Δd – залишкова деформація;
 $R_{нов}$ – шорсткість поверхні до накатування; R – шорсткість після накатування;
 S – подача; P – зусилля деформування

В результаті накатування змінюється мікроструктура, фізико-механічні властивості верхнього шару металу, підвищуються його твердість і міцність, збільшується стійкість проти спрацювання, шорсткість поверхні досягається $R_a = 0,040$ мкм, діаметр оброблювальної деталі зменшується на величину залишкових деформацій.

Методом зміцнювального накатування можна обробляти деталі, виготовлені або відновлені з матеріалів, що деформуються без руйнування, у холодному стані: вуглецевих і легованих сталей, чавуну, кольорових металів і сплавів, композиційних матеріалів.

При ремонті автомобілів і будівельних машин цим методом обробляють циліндри автотракторних двигунів, отвори в корпусних деталях, втулки верхньої головки шатунів, фаски клапанів і клапанних гнізд, відновлюють пружні властивості пружин, зміцнюють галтели шатунних і корінних шийок колінчастих валів, оброблюють зовнішні і внутрішні поверхні інших деталей.

Для зміцнювальної обробки деталей накаткою використовують металорізальні верстати загального призначення: токарні, розточувальні, свердлильні, стругальні, фрезерні тощо. Як робочий інструмент використовують спеціальні накатники, деформуючими елементами яких є кульки і ролики, що випускаються промисловістю або спеціально виготовлені. Для підвищення стійкості проти спрацювання на робочі поверхні роликів і кульок наносять тверді сплави. Шорсткість поверхні робочих тіл повинна бути меншою за шорсткість деталі. Кулька відносно поверхні самовстановлюється у будь-якому положенні. Цим вона забезпечує кращі умови пластичного деформування металу, дає змогу працювати з меншим тиском і отримувати меншу шорсткість поверхні.

Особливістю роликів накатників є те, що ролики мають стабільну вісь обертання і в процесі накатування можуть ковзати по поверхні деталі. Це знижує якість поверхні, сприяючи перенаклепу, порушенню поверхневого шару, погіршенню шорсткості і призводить до додаткових витрат енергії. Зменшення поверхні контакту і зусиль, діючих на ролики, досягають розміщенням роликів під кутом до осі оброблюваних поверхонь.

За способом передачі зусилля на деталь розрізняють накатки з жорстким і пружним контактами між інструментом і оброблюваною поверхнею. Жорсткі накатники прості у виготовленні, але вони не забезпечують рівномірного зміцнення оброблюваної поверхні деталі.

Пружна накатка забезпечує кращу якість оброблюваної поверхні деталі, демпфування динамічних навантажень накатування і дає можливість точно регулювати зусилля тиску інструменту на деталь.

Конструкцію кулькової жорсткої накатки для обробки деталей типу валів (див. рис. 1.2). Вона складається з двох кулькових підшипників 7, розміщених на осях 3, які закріплені в корпусі 6. Кулька 5 діаметром 15–17 мм опирається на підшипник і утримується від випадіння сепаратором 4. До корпусу приварена державка 1 для закріплення накатника в різцетримачі супорта токарного верстата.

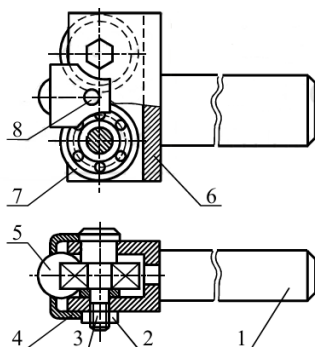


Рис. 1.2 – Накатник кульковий: 1 – державка; 2 – гайка; 3 – вісь; 4 – сепаратор; 5 – кулька 6 – корпус; 7 – шарикопідшипник; 8 – гвинт

Роликову розкатку для обробки втулки шатуна під поршневу палець наведено на рис. 1.3. П'ять роликів 1 вставлені у вікна корпусу 2, опираються на конусовий стрижень 3, який встановлюється на двох упорних шарикопідшипниках 4 в корпусі. На корпусі розміщена внутрішня різьба для регулювального гвинта 6, за допомогою якого здійснюється розсування або зближення роликів на потрібний розмір оброблюваного отвору. Припуск під розкочування 0,04–0,06 мм. Обробку виконують на токарному верстаті.

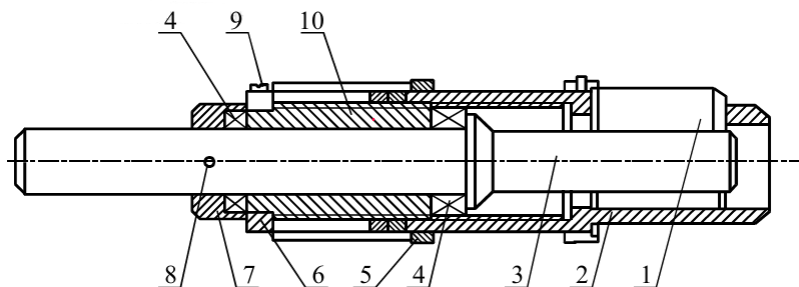


Рис. 1.3 – Розкатка роликова: 1 – ролик; 2 – корпус; 3 – стрижень з конусом; 4 – шарикопідшипники упорні; 5 – гайка; 6 – кільце; 7 – упорне кільце; 8, 9 – штифти; 10 – гвинт регулювальний

При обробці отвору головки шатуна під втулку розкочуванням міцність спряження збільшується на 70–80 %, при обробці бронзової втулки твердість збільшується на 20 %, а термін використання – у два рази.

Конічні накатники з циліндричними роликами для зміцнювальної обробки робочих фасок клапанів і клапанних гнізд (див. рис. 1.4). Накатку фасок здійснюють на вертикально-свердлильних верстатах під тиском в межах 300–500 МПа, роликами діаметром 5–8 мм за 5–10 проходів. Після об-

робки фасок клапанів і гнізд їх шорсткість досягає значень $R_a = 0,16-0,32$ мкм, при цьому немає потреби в притиранні клапанів до гнізд.

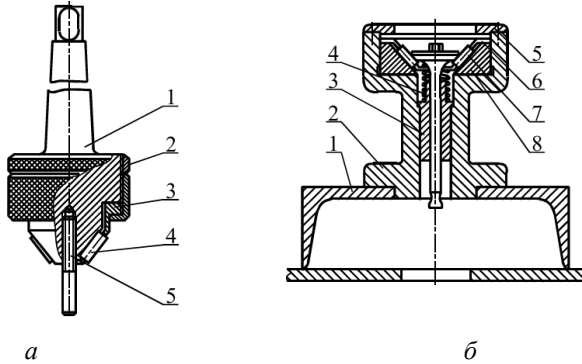


Рис. 1.4 – Накатки для відновлення спряження гніздо-клапан:
а – накатка для гнізд клапанів (1 – корпус з хвостиком; 2 – контргайка; 3 – сепаратор; 4 – ролик; 5 – напрямний стрижень);
б – накатка для фасок клапанів (1 – основа; 2 – корпус; 3 – напрямна втулка; 4 – пружина; 5 – притискне кільце; 6 – сепаратор; 7 – ролик; 8 – опорний конус)

Роликову накатку для відновлення пружних властивостей пружин наведено на рис. 1.5.

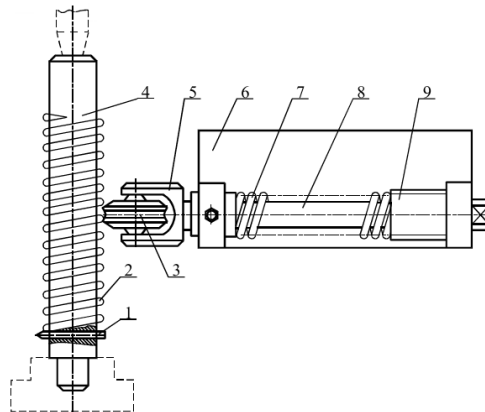


Рис. 1.5 – Накатка для відновлення пружин:
1 – штифт; **2** – пружина відновлювана; **3** – ролик; **4** – оправка; **5** – стрижень;
6 – опора; **7** – пружина; **8** – вісь; **9** – гвинт натискний

Ролик 3 встановлюється на осі, яка закріплена у провудині стрижня 5. Передній кінець стрижня переміщується в напрямній опорі 6. Задній кінець

стрижня опирається на натискний гвинт 9, з'єднаний з опорою 6. Гвинт через пружину 7 передає зусилля на стрижень і забезпечує необхідний тиск у зоні контакту ролика з пружиною. Для накатування пружину встановлюють на оправку 4, закріплюють від переміщень штифтами 1 і разом з оправкою закріплюють на токарному верстаті.

Якість поверхневого шару, шорсткість і ступінь зміцнення, твердість і стійкість проти спрацювання при обробці кульковими і роликовими накатками залежить від зусилля накатування, поздовжньої подачі, кількості проходів, швидкості накатування, припуску і шорсткості поверхні до накатування і фізико-механічних властивостей деталі.

Під зусиллям накатування розуміють нормальну силу тиску кульок або роликів, що діє на оброблювану поверхню. Нормальна сила повинна бути мінімальною, що забезпечує потрібні точність і шорсткість. Великі зусилля призводять до перенапруження і руйнування поверхні.

Зусилля накатування знаходиться в межах від 500 до 1200 Н. Менші значення приймають для матеріалів з низькою твердістю накатуванням з меншою площиною контакту. На практиці часто зусилля накатування, особливо для жорстких накаток, створюють натягом. Для сталі 45 і 30 оптимальний натяг знаходиться в межах 0,10–0,20 мм, для чавуну СЧ 18–36 – від 0,10 до 0,15 мм.

Подача діє на властивості поверхневого шару, визначає продуктивність обробки, залежить значною мірою від початкової і кінцевої шорсткості та розмірів кульки, ролика. Для кульки вона становить 0,05–0,2 мм/об. Менші значення приймають для меншої шорсткості. Для роликів – 0,3–0,9 мм/об.

Припуск на накатування зазначають залежно від шорсткості попередньо обробленої поверхні, яка для незагартованих сталей, кольорових металів і сплавів повинна бути не вищою $R_a = 2,5\text{--}5,0$ мкм, при обробці загартованих сталей – не вищою $R_a = 0,75\text{--}1,3$ мкм. Зменшення діаметра для отримання шорсткості $R_a = 0,08\text{--}0,032$ мкм при вхідному її значенні 1,6–2,5 мкм досягає 0,01–0,03 мм.

Орієнтовно припуск зазначають як такий, що дорівнює висоті мікронерівностей, оскільки при деформації нерівності згладжуються приблизно на половину їх висоти.

Кількість проходів мінімальна за умови забезпечення необхідної шорсткості. При правильному виборі зусилля накатування і подачі можна забезпечити потрібну шорсткість за один прохід. Обробку деталей з недостатньою шорсткістю з малими тисками, низькою якістю поверхні здійснюють за 2–3 проходи. Подальше збільшення кількості проходів призводить до руйнування наклепаного шару поверхні деталі.

Від швидкості накатування залежить температура в місці контакту інструменту з деталлю, що практично не впливає на шорсткість. Із збільшенням швидкості накатування зростає тепловиділення, знижується довговічність інструменту, підвищується продуктивність. Швидкість накатування –

50–300 м/хв, зазначається максимально можливою при допустимій температурі на поверхні контакту інструменту з деталлю.

Процес накатування рекомендується здійснювати з використанням охолоджувально-мастильних рідин (індустріальні масла та їх суміші з гасом).

Машинний час накатування визначають за формулою:

$$T_M = \frac{l_p \cdot i}{n \cdot s}, \text{ хв,}$$

де l_p – розрахункова довжина накатування $l_p = l_k + 2-4$ мм; l_k – конструктивна довжина оброблюваної поверхні; i – кількість проходів; n – кількість обертів деталі; s – подача, мм/об.

Порядок та зміст виконання

1. Проаналізувати методи відновлення деталей зміцнювальним накатуванням, ознайомитись з обладнанням для накатування, зв'язком властивостей відновлюваної поверхні з режимами обробки, межами використання зміцнювального накатування при ремонті автомобільної техніки і будівельних машин. Підготувати вихідні дані для виконання роботи. У п. 1 звіту описати оснащення робочого місця. Накреслити ескіз кулькової накатки жорсткого типу у п. 2 звіту. Підготувати форму (табл. 1.1, 1.2 для п. 4 звіту).

Таблиця 1.1 – Обробка валика кульковою накаткою

Вид обробки	Шорсткість поверхні, мкм	Діаметр, мм	Зменшення діаметра, мм	Твердість
Точіння. Накатування: – 1-й прохід; – 2-й прохід; – 3-й прохід				

Таблиця 1.2 – Обробка пружин роликвою накаткою

Довжина пружин в робочому стані, мм	Пружність, Н		Приріст пружності	
	До накатування, P_1	Після накатування, P_2	Абсолютний, Н $\Delta P = P_2 - P_1$	Відносний, % $\Delta P = \frac{P_1}{P_2} \cdot 100 \%$

2. Визначити конструктивно-технологічну характеристику пружини (пружина дається на занятті), заготовки для накатування кулькою. Дослідити головні вузли і органи керування токарного верстата, пристроїв, особливості будови накатників, інструменту.

3. Розробити технологічний процес накатування зовнішньої поверхні кулькою, відновлення пружних властивостей пружини. Ознайомитись з технічними вимогами до зміцнювального накатування поверхонь. Вивчити спосіб базування і кріплення деталей для накатування. Скласти план операцій обробки поверхні і пружини, послідовність і зміст переходів, методи контролю.

Визначити режими накатування: зусилля накатування P , подачу s , кількість проходів i та швидкість накатування V , кількість обертів деталі n . Обчислити машинний час обробки кулькою зовнішньої поверхні зразка і накатки пружини.

Розрахунки параметрів подати в п. 2 звіту, результати розрахунків занести до операційної карти, п. 3 звіту.

4. Разом з майстром підготувати верстат до роботи з кульковою накаткою. Встановити заготовку $d = 30\text{--}50$ мм у патрон, закріпити її. Закріпити прохідний різець і кульковий накатник в різцетримачі супорта верстата. Наладити верстат на режими накатування.

5. Виконати накатування заготовки. Переконавшись у безпеці присутніх, з дозволу викладача включити верстат, проточити зовнішній діаметр шорсткістю $R_a = 2,5\text{--}1,6$ мкм на довжину $L = 100$ мм. Підвести кульку до деталі, рукояткою поперечної подачі створити потрібне зусилля $P = 500\text{--}1000$ Н (натяг $0,1\text{--}0,2$ мм). Накатати поверхню заготовки ступінчасто, відповідно за 1, 2, 3 проходи на ділянках довжиною $L = 20\text{--}25$ мм.

6. Переналадити верстат на накатку пружини. Виміряти пружність пружини на пристрої МПП-100. Встановити пружину на оправку і закріпити її на оправці. Закріпити оправку в патроні, підперти центром задньої бабки. Закріпити в різцетримачі верстата роликову накатку.

Наладити верстат на режими накатки. Подача S дорівнює кроку пружини, швидкість обертання шпинделя верстата $n = 20\text{--}50$ об/хв. Підвести ролик до пружини, створити потрібне зусилля в межах $P = 500\text{--}1000$ Н (стиснення пружини на 5 мм створює зусилля 24 Н). Включити верстат і провести накатку пружини, виконавши 2–4 подвійних проходи вздовж витків пружини. Зняти оправку з верстата, з оправки – пружину.

7. Проконтролювати якість обробки деталей. За еталоном шорсткості визначити шорсткість оброблених поверхонь: проточеної і накатаної кулькою. На твердомірі ТШ-2 заміряти твердість поверхонь. Заміряти діаметри поверхонь і визначити зменшення діаметра після накатування.

Провести дворазове динамічне стиснення пружини на свердлильному верстаті. Заміряти пружність пружини після накатки.

Результати контролю деталей занести до п. 4 звіту.

8. Провести організаційно-технічне обслуговування робочого місця. Привести в початковий стан інструмент, деталі, документацію, прибрати верстат, обладнання. Здати робоче місце майстрові.

9. Оформити звіт.

Вимоги до оформлення та захисту звіту

Записати тему та мету роботи, описати обладнання та матеріали, навести послідовність виконання операцій осадження, результати вимірювань геометричних параметрів до та після обробки, проаналізувати ефективності методу, описати характер деформації та поверхневі зміни, сформулювати висновки за результатами роботи.

Під час захисту необхідно пояснити і обґрунтувати розрахунки, прийняті рішення, знати будову і головні параметри обладнання та інструменту, вміти контролювати процеси і оформляти технологічну документацію, знати, як налагодити обладнання, виконувати операції з обробки деталей, знати послідовність виконання роботи.

Контрольні питання

1. У чому полягає суть зміцнення деталі під час накатування?
2. Який механізм зміцнення матеріалу при пластичній деформації поверхні деталі?
3. Назвати матеріали і навести приклади деталей, які можна обробляти накатниками.
4. Яке обладнання використовують при зміцнювальній обробці деталей?
5. Де застосовуються кулькові і роликові жорсткі накатники?
6. Які є режими накатування і як вони впливають на якість зміцнення?
7. Як відновлюють пружні властивості пружин?
8. Як контролюють якість зміцнювального накатування деталей?

Література: [1, с. 45–51; 2, с. 17–52; 3, с. 5–15; 4, с. 3–12]

Лабораторна робота 2

Формування відновлювальних покриттів електролітичним хромуванням

Мета: формування практичних навичок розробки і виконання технологічного процесу електролітичного хромування, підготовки поверхні та виконання хромування у лабораторних умовах, аналізу електрохімічного нанесення покриттів та дослідження впливу режимів хромування на товщину та рівномірність покриття.

Матеріали та інструменти: хромувальна установка, джерело живлення, підвісні пристрої для деталей при хромуванні, ключі ріжкові 10×12; 12×14; 17×19; 22×24, мікрометр МК 25-2, лінійка ШП 1-400, ваги технічні з рівновагами 10 мг, абразивні шкурки № 120 і № 200, лупа ЛП-1-4, напилек.

Теоретичні відомості та методичні рекомендації

Електролітичний хром має високу твердість, стійкість проти спрацювання, високу хімічну стійкість і вогнетривкість.

Хромування застосовують для відновлення деталей з незначними спрацюваннями – до 0,1 мм на сторону.

Здебільшого застосовують хромові електроліти, до складу яких входять два компоненти – хромовий ангідрид CrO_3 і сірчана кислота H_2SO_4 у співвідношенні 90:120. Характеристики цих електролітів наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Склад і режими хромових електролітів

Електроліт	Склад, г/л		Режим	
	CrO_3	H_2SO_4	Густина струму, А/дм ²	Температура електроліту, С
Розведений	120–150	1,2–1,5	40–100	50–65
Універсальний	200–250	2–2,5	20–60	45–55
Концентрований	300–350	3–3,5	15–30	40–50

Зовнішній вигляд, структура і механічні властивості електролітичного хрому змінюються в широких межах і залежать від концентрації, температури електроліту й густини струму.

Залежно від умов електролізу можна мати блискучі, молочні або сірі покриття.

Блискучими покриття бувають при середніх температурах електроліту 45–50 °С, широкому діапазоні густин струму – 25–50 А/дм³. Вони мають високу твердість – 6000–9000 МПа.

Молочні покриття утворюються при температурах електроліту 65 °С і вище, у широкому діапазоні густини струму. Твердість їх понижена в межах 4000–6000 МПа, корозійна стійкість висока.

Сірі покриття характеризуються високою твердістю – 9000–12000 МПа і підвищеною ламкістю. Для ремонту їх не застосовують.

Режими електролізу вибирають залежно від умов роботи спрацьованих деталей. Для відновлення нерухомих спряжень використовують блискучі покриття. При знакозмінних навантаженнях і великих питомих зусиллях – молочні покриття.

На твердість хрому впливає концентрація електроліту. За незмінних інших умов електролізу підвищення концентрації електроліту призводить до зниження твердості осадів. У ремонтній практиці використовують здебільшого універсальний та розведений електроліти.

Будову хромувальної установки наведено на рис. 2.1.

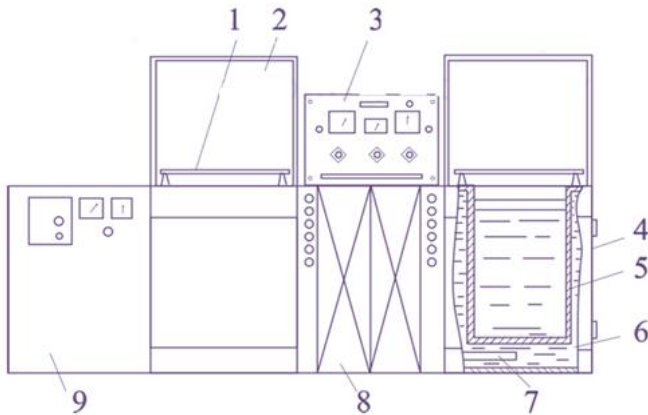


Рис. 2.1 – Хромувальна установка: 1 – штанги; 2 – кришка; 3 – пульт керування; 4 – корпус; 5 – внутрішня ванна; 6 – мінеральне масло; 7 – нагрівальний елемент; 8 – шафа з вентиляційною установкою; 9 – джерело живлення

Установка складається з двох ванн. Кожна ванна має корпус 4, виготовлений з листової сталі, і внутрішню ванну 5, зроблену з листової нержавіючої сталі марки Х18Н9Т. Простір між корпусом і внутрішньою ванною заповнюється мінеральним маслом 6. У масляному середовищі вмонтовані два трубчасті нагрівача 7 потужністю 2 кВт кожен з температурним реле. Для контролю роботи і регулювання температурного реле в електроліт похило занурений ртутний термометр. Внутрішня ванна електрично ізольована від зовнішньої. Над кожною ванною на текстолітових ізоляторах, попарно розміщених у вертикальній площині, закріплені чотири струмопровідні поздовжні штанги 1, призначені для підвішування деталей і анодів.

Для забезпечення санітарно-гігієнічних умов під час роботи кожна ванна має кришку 2, а всередині шафи 8 обладнана витяжна вентиляція. На пульті керування 3 вмонтовані два амперметри з показами від 0 до 200 А, вольтметр – від 0 до 30 В і перемикачі для зміни полярності струму (хрому-

вання – декопіювання), два вмикачі нагрівачів, вмикач підключення ванни до джерела живлення, перемикач амперметра 20 А і 200 А, реостат для плавного регулювання сили струму. Джерелом живлення є агрегат випрямний 9 типу ВАС 600/300.

Зв'язок властивостей електролітичного хрому з концентрацією електrolітів і режимами електролізу наведено на початку роботи.

Товщину осадів h на один бік, яка потрібна для компенсації спрацювання деталі, визначають за формулою:

$$h = \frac{D_{кр} - D_{спр} - z}{2},$$

де $D_{кр}$ – номінальний або ремонтний розмір деталі згідно з кресленням, мм; $D_{спр}$ – діаметр спрацьованої поверхні деталі, мм; z – припуск на діаметр для наступної механічної обробки, мм. Для деталей припуск для наступного шліфування становить: при безцентровому шліфуванні 0,05–0,1 мм; при шліфуванні в центрах 0,1–0,15 мм.

Тривалість електролітичного нарощування прошарку хрому визначають за формулою:

$$T = \frac{h \cdot \gamma \cdot 1000}{c \cdot D_k \cdot \eta},$$

де γ – питома вага електролітичного хрому, $\gamma = 6,920$ г/см³; c – електрохімічний еквівалент хрому, $c = 0,323$ г/(А·год); D_k – густина струму, А/дм²; η – вихід хрому за струмом, $\eta = 13$ –15 %.

Порядок та зміст виконання

1. Ознайомитися з організацією робочого місця для електролітичного хромування, розміщенням обладнання, пристроїв, інструменту, документацією. Проаналізувати методи електролітичного хромування, зв'язок нарощеного шару хрому з параметрами режимів електролізу, межі використання хромування під час ремонту автомобільної техніки і будівельних машин.

2. Підготувати вихідні дані для виконання роботи. Описати оснащення робочого місця, призначення і головні параметри хромувальної установки. Подати схему пульта керування, схеми завішування деталі на установці. Виготовити форму операційної карти.

3. Проаналізувати конструктивно-технологічну характеристику деталі, яку відновлюють (деталь дають на занятті).

Охарактеризувати будову і органи керування хромувальною установкою. Перевірити стан анодних і катодних штанг ванни, у разі потреби очистити їх наждачним полотном (при зачищенні не засмічувати ванну).

4. Розробити технологічний процес хромування деталі. Ознайомитись з технічними вимогами щодо відновлення деталі. Підібрати обладнання, пристрої, інструмент.

Скласти план операції хромування, послідовність дій, їх зміст, методи контролю. Визначити площу завішуваних деталей F_k , дм^2 . Підготувати аноди для завішування і визначити площу завішування анодів F_a , дм^2 . Співвідношення поверхні анода до катода – 2:1. Заміряти температуру електроліту ванни для хромування, установити густину струму D_k , А/дм^2 , визначити розрахункову силу струму I_k , товщину нарощуваного шару хрому і час витримування деталі у ванні. Визначити розрахункову силу струму при анодному декопіюванні, установити тривалість декопіювання. Розрахунки та результати записати в операційну карту.

5. Підготувати деталь для хромування. Зачистити її поверхню, зважити на вагах з точністю до 10 мг та заміряти діаметр відновлюваної поверхні в чотирьох поясах і двох площинах паралельно і перпендикулярно до штанг ванни (на торцях деталі зробити помітки). При $\Delta_{ов}$, $\Delta_{кон} > 0,03$ місця хромування шліфують.

Закріпити деталь у підвісному пристрої, ізолювати ділянки деталі і підвіски, які не потребують покриття. Схему підвіски деталі у ванні подати в п. 2 звіту. Знежирити деталь у лужній електролітичній ванні: їдкий натр 70–100 г/л, рідке скло 2–3 г/л, густина струму $D_a = 10 \text{ А/дм}^2$, тривалість знежирення 5–7 хв, катода – сталеві пластини, анод – деталь. Знежирювати можна віденським вапном. Промити деталь спочатку в гарячій воді при температурі 50–60 °С, а потім в холодній проточній. Завісити деталь у ванні для хромування і провести анодне декопіювання при густині струму $D_a = 25\text{--}40 \text{ А/дм}^2$ протягом 30–45 с, анод – деталь, катод – свинцеві пластини.

6. Нанести хромове покриття. Не виймаючи деталі з ванни, перемкнути струм і здійснити хромування. Склад електроліту: хромовий ангідрид CrO_3 – 250 г/л, сірчана кислота H_2SO_4 – 2,5 г/л, катод – деталь, анод – свинцеві пластини. Тривалість хромування визначається за товщиною покриття. Вимкнути струм після закінчення розрахункового часу.

7. Провести заключні операції. Промити деталь у проточній воді. Зняти деталь з підвіски, зірвати ізоляцію. Сушити в сушильній шафі при температурі 150–200 °С.

8. Перевірити якість виконання хромування. Характеристика покриття за зовнішнім виглядом: блискучий, матовий, гладенький, шершавий, наявність дефектів, відшарувань, характер сітки тріщин. Зважити деталь на вагах з точністю до 10 мг. Заміряти діаметр відновленої поверхні за позначками. Обчислити вихід хрому за струмом:

$$\eta = \frac{q_2 - q_1}{c \cdot I \cdot T} \cdot 100 \%,$$

де q_1 – маса деталі до хромування, г; q_2 – маса деталі після хромування, г; c – електролітичний еквівалент хрому, $c = 0,323$ г/(А · год); I – сила струму, А; T – тривалість електролізу, год.

9. Здійснити організаційно-технічне обслуговування робочого місця. Привести в початковий стан інструмент, деталь, документацію, прибрати робоче місце, обладнання. Здати робоче місце майстрові.

10. Оформити звіт.

Вимоги до оформлення та захисту звіту

Записати тему та мету роботи, описати обладнання та матеріали, навести послідовність виконання операцій електролітичного хромування.

У звіті навести короткий огляд теоретичних основ електролітичного хромування, перелік обладнання, хімічного складу електроліту, умови обробки, опис послідовності проведення хромування, таблиця результатів вимірювання товщини та якості покриття, аналіз отриманих результатів з точки зору рівномірності та адгезії, фотознімки або схематичне відображення покриття, висновки і відповіді на контрольні запитання.

Під час захисту необхідно пояснити і обґрунтувати розрахунки, прийняті рішення, знати будову і головні параметри обладнання та інструменту, вміти проектувати процеси і оформляти технологічну документацію, знати, як налагодити обладнання, вміти виконувати операції з відновлення деталі, знати послідовність виконання роботи.

Контрольні питання

1. У чому суть гальванічного осадження металу?
2. Де застосовують хромові покриття?
3. Які параметри при хромуванні впливають на вид осадів хрому? Перерахуйте види осадів хрому.
4. Які основні операції підготовки деталей до хромування?
5. Які компоненти входять до складу електроліту для хромування?
6. Як визначають товщину покриття деталі?
7. Які фактори впливають на тривалість електролізу?
8. Яка принципова будова установки для хромування деталей?

Література: [1, с. 76–79; 4, с. 12–19; 5, с. 15–50; 6, с. 39–49]

Лабораторна робота 3

Використання полімерних матеріалів для відновлення зношених деталей

Мета: формування практичних навичок розробляти і виконувати технологічний процес відновлення зношених деталей за рахунок використання полімерних матеріалів, використовувати методику відновлення деталей із застосуванням полімерних композицій, дослідити технологічні етапи підготовки, нанесення та полімеризації ремонтного складу, оцінити адгезію та якість отриманого покриття.

Матеріали та інструменти: робочий стіл з витяжною шафою, вакуум-сушильна шафа ВШ–0,035, вага настільна ВНЦ–2, пристрій для нагрівання полімерів, шліфувальна машинка, ванночка, палиця скляна, шпатель, пензель, набір полімерів, наповнювач, скловолокно, молоток слюсарний, керн, зубило слюсарне, щітка металева, напилек, ацетон.

Теоретичні відомості та методичні рекомендації

Технологічні процеси відновлення деталей полімерними композиціями прості, не потребують складного обладнання й широко використовуються під час ремонту.

Полімерні композиції мають досить високі фізико-механічні властивості, хімічно стійкі проти води, нафтопродуктів, слабких розчинів солей, кислот, більшості розчинників, мають хороші діелектричні властивості.

Під дією температури смоли змінюються. Залежно від характеру змін їх поділяють на термореактивні й термопластичні.

Нагріті до певної температури, термопластичні смоли після охолодження не змінюють властивостей і можуть бути знову нагріті й розплавлені. Вони розчиняються в органічних розчинниках.

Термореактивні смоли при нагріванні плавляться, після затвердіння переходять у твердий нерозчинний стан.

Полімерні матеріали, які використовують для ремонту й відновлення деталей, наведено у таблиці 3.1.

Для якісного відновлення деталей полімерними композиціями слід ретельно підготувати поверхні деталі до відновлення, правильно приготувати й використати полімерні суміші.

Основою полімерних композицій є епоксидна смола, яка є в'язучою в суміші. Крім смоли, до складу сумішей входять пластифікатори, твердники, наповнювачі. Пластифікатори призначені для зменшення крихкості і збільшення ударної міцності затверділої композиції. Як пластифікатор використовують дебутилфтолат. Як затвердник в ремонтній практиці найбільшого поширення набув поліетиленполіамін.

Таблиця 3.1 – Застосування полімерних матеріалів

Назва	Застосування
Поліамід ПП-610 Поліамід 68 Поліамід НД Поліамід 6Д Палістрирол	Ремонт валиків, втулок, вкладишів підшипників, виготовлення шестерень, шківів тощо. Нанесення покриття, виготовлення захисних деталей(пробок, заглушок). Виготовлення деталей, що працюють при температурі до 65 С
Поліформальдигід	Як замітник сталей та кольорових металів під час ремонту й виготовлення деталей.
Волокніт АГ-4	Виготовлення крильчаток, шестерень і деталей, що працюють при температурі 60–200 С.
Текстоліт	Виготовлення прокладок, шестерень, ремонт деталей
Еластомер ГЕН-150(В)	Ремонт нерухомих з'єднань деталей.
Епоксидна смола ЕД-16	Ремонт тріщин, пробоїн у корпусних деталях, відновлення спряжу вальних поверхонь під підшипники, клесварювальні з'єднання, ремонт різьбових з'єднань Герметизація та ущільнення з'єднань деталей
Герметик Еластосил 137-83	Те ж
Герметик Еластисл	Приклеювання фрикційних накладок ведених дисків
Синтетичний клей Клей ВС-20Т	Те ж
Клей БФ-2	Склеювання металів і полімерних металів
Клей БФ-4	Те ж
Клей 88Н	Склеювання гуми з металом

У полімерних сумішах поліпшують фізико-механічні властивості наповнювачі. Залежно від призначення сумішей як наповнювач використовують залізни, алюмінієві порошки, цемент, азбест, скловолокно та інші матеріали (табл. 3.2). Олігоамід в суміші А є одночасно і пластифікатором і твердником.

Таблиця 3.2 – Склад полімерних сумішей для ремонту і відновлення деталей

Компонент	Склад суміші, масові частини			
	А	Б	В	Г
Епоксидна смола ЕД-16	100	100	100	100
Поліетиленполіамін	–	8	8	8
Олігоамід Л-19	30	–	–	–
Дибутілфтолат	–	25	15	15
Стальний порошок	120	230	–	–
Цемент марки 500	60	60	120	–
Алюмінієвий порошок ПАК-1	–	–	–	20–40

Епоксидні суміші А і Б застосовують для відновлення посадкових місць підшипників у корпусних деталях. Сумішню В ремонтують тріщини і пробоїни у сталевих і чавунних деталях. Для відновлення алюмінієвих деталей використовують суміш Г.

Технологія приготування епоксидних сумішей. Готують суміші у важкій шафі. Епоксидну смолу розігрівають до температури 70–80 °С у водній ванні, наливають у чистий посуд, додають пластифікатор і перемішують. Просушений наповнювач додають поступово, перемішуючи. Добуту суміш витримують у термошафі при температурі 120–160 °С до припинення спінювання. Виготовлена суміш може зберігатися тривалий час у герметичному посуді. Твердник до суміші додають в потрібних масових частинах перед використанням. Суміші готують стільки, щоб повністю її використати. Тривалість зберігання готової суміші обмежена до 30 хв.

Порядок та зміст виконання

1. Охарактеризувати види і склад полімерів, межі використання полімерів для ремонту автомобільної техніки і будівельних машин.

2. Підготувати вхідні дані для виконання роботи. Описати оснащення робочого місця. Технологію приготування епоксидної композиції подати у звіті. Виготовити форму операційної карти.

3. Ознайомитись з організацією робочого місця для ремонту тріщин полімерною композицією, розміщенням обладнання, пристроїв, інструменту, документацією.

Проаналізувати конструктивно-технологічну характеристику деталі, яку відновлюють (деталь дають на занятті).

Повторити правила техніки безпеки роботи з полімерами.

4. Розробити технологічний процес ремонту тріщини полімерною композицією. Ознайомитись з технічними вимогами до відновленої поверхні деталі.

Підібрати обладнання, пристрої, інструмент.

Скласти план операцій нанесення полімерної композиції, визначити послідовність і зміст переходів, методи контролю. Визначити склад полімерної суміші. Склад суміші зазначити в операційній карті.

5. Разом з майстром підготувати до роботи обладнання, деталь, матеріали.

6. Підготувати поверхню (очистити її від забруднень). Визначити межі тріщини. Засвердлити кінці тріщин свердлом 2,5–3 мм. Розробити тріщину під кутом 60–70° по довжині на глибину 2–3 мм. Зачистити поверхню деталі з обох боків тріщини на ширину 30–40 мм до металічного блиску і зробити на ній насічку (див. рис. 3.1). Знежирити поверхню тріщини і зачищеної ділянки ацетоном, просушити протягом 8–10 хв при температурі не нижче 20 °С.

7. Приготувати полімерну композицію.

8. Нанести на поверхню деталі шар полімерної суміші пензлем, ретельно ущільнити шпателем. Якщо тріщина більша за 150 мм, то на неї нано-

сять кілька шарів суміші, між якими розміщують скловолокно або технічну бязь. Кожний шар тканини накручують гумовим валиком.

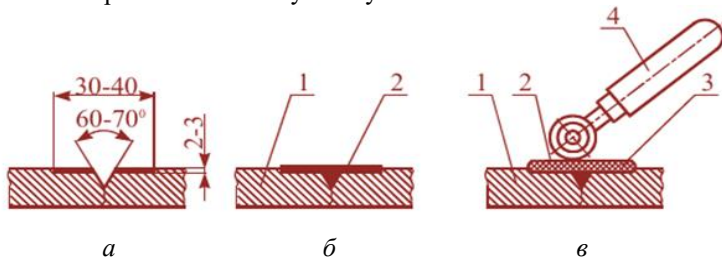


Рис. 3.1 – Ремонт тріщин епоксидними композиційними сумішами:
а – підготовка поверхні; **б** – нанесення епоксидної суміші;
в – покриття епоксидної суміші накладкою із тканини і прикочування накладки;
1 – деталь; **2** – шар епоксидної суміші;
3 – накладка із тканини; **4** – ролик поліетиленовий

Нанесений шар полімерної суміші повинен перекивати тріщину на 20–25 мм. Для затвердіння полімерної суміші в тріщині та міцного скріплення шарів латок деталей витримують при кімнатній температурі протягом трьох діб або 24 год в кімнаті, а потім при температурі 100 °С протягом 2 год. Після затвердіння зачищають напливи суміші, перевіряють якість ремонту тріщини, при потребі проводять гідравлічні випробування.

Вимоги до оформлення та захисту звіту

Записати тему та мету роботи, описати обладнання та матеріали, навести послідовність виконання операцій з відновлення зношених деталей за рахунок використання полімерних матеріалів. Проаналізувати властивості полімерних композицій та механізм їх адгезії до металевої основи, описати матеріали, обладнання та етапи виконання роботи, заповнити таблицю характеристик нанесеного шару, описати зовнішній вигляд, надати пояснення однорідності та можливих дефектів покриття, проаналізувати придатності полімерної технології для відновлення поверхні, сформулювати висновки.

Контрольні питання

1. Які полімери використовуються в ремонті?
2. Назвіть межі використання епоксидних композицій.
3. З чого складаються епоксидні композиції?
4. Яка технологія приготування полімерної суміші?
5. Яка технологія підготовки поверхні до ремонту епоксидною композицією?
6. Яка технологія ремонту тріщини епоксидною сумішшю?

Література: [4, с. 19–23; 7, с. 21–53; 8, с. 28–45; 9, с. 9–17]

Лабораторна робота 4

Нанесення покриттів методом електроіскрової обробки

Мета: формування практичних навичок нанесення зносостійких покриттів на сталеві заготовки методом електроіскрової обробки, ознайомлення з принципом дії установки ЕЛФА-541, аналіз впливу матеріалу електрода та режимів обробки на формування структури покриття, а також проведення мікроскопічного аналізу утвореного шару для оцінки його якості та зчеплення з основним матеріалом.

Матеріали та інструменти: установка ЕЛФА-541, сталеві заготовки 20×20×5 мм, електродні дроти з твердого сплаву, міді, хрому, тримач електродів, шліфувальний папір, полірувальні пасти, травильний розчин (4 % HNO₃ в етанолі), мікроскоп МІМ-10.

Теоретичні відомості та методичні рекомендації

Електроіскрова обробка (ЕІО) – метод поверхневого модифікування матеріалів, заснований на багаторазовому імпульсному розряді між електродом-інструментом і оброблюваною поверхнею. У результаті розряду відбувається локальне плавлення матеріалу електрода та його перенесення на поверхню деталі, що дозволяє сформувати зносостійке покриття. Метод забезпечує високу адгезію покриття, мінімальний тепловий вплив і можливість обробки складнопрофільних поверхонь без деформацій.

Установка ЕЛФА-541 (рис. 4.1) створює короткочасні імпульси високої напруги, які забезпечують електроіскрову обробку.



Рис. 4.1 – Установка для ЕІО ЕЛФА-541

Процес відбувається за участі електрода (анода) з твердого сплаву, міді або хрому, який торкається заготовки (катода). Контроль параметрів процесу (струму, частоти, напруги) здійснюється через систему керування. Після об-

робки зразок досліджується за допомогою мікроскопа МІМ-10 для оцінки структури покриття. Схема електроіскрової обробки показана на рис. 4.2.

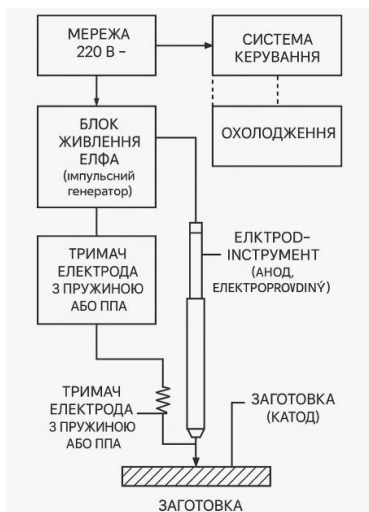


Рис. 4.2 – Схема електроіскрової обробки

Установка ЕЛФА-541 функціонує за принципом електроіскрової обробки, що реалізується шляхом створення короткочасного електричного імпульсу високої напруги між електродом-інструментом і оброблюваною заготовкою. Джерелом енергії є мережа змінного струму 220 В, яка через систему керування подається на блок живлення установки. Цей блок генерує імпульси заданих параметрів (напруга, частота, тривалість), які надходять до електрода-інструмента, закріпленого в тримачі.

Електрод з'єднаний з позитивним полюсом (анод), а оброблювана сталевана заготовка – з негативним полюсом (катод). У момент дотику електрода до поверхні деталі в мікрзоні контакту виникає розряд, що супроводжується локальним плавленням і перенесенням частини матеріалу електрода на поверхню заготовки. Процес багаторазового повторення таких імпульсів формує тонкий зміцнювальний шар із заданими властивостями.

Регулювання параметрів імпульсів (сила струму, напруга, частота, тривалість) здійснюється через блок керування, що дозволяє адаптувати процес до різних типів електродів (мідь, хром, твердий сплав) та вимог до покриття. Для забезпечення стабільності процесу використовуються механічні або пневматичні тримачі, що підтримують постійний контакт між електродом і заготовкою. Охолодження електроніки здійснюється пасивно або за допомогою вентилятора. Таким чином, установка ЕЛФА-541 забезпечує локальне нанесення зносостійкого покриття без нагрівання всієї деталі, з високою точністю та можливістю обробки поверхонь складної форми.

Далі подано коротку характеристику можливих структур покриттів, які утворюються під час електроіскрової обробки при використанні різних електродних матеріалів.

1. Твердий сплав (наприклад, WC–Co):

- структура покриття: дрібнозерниста або шарувата;
- особливості: покриття має високу твердість і зносостійкість; часто формується шарувата структура з високим ступенем зчеплення з основою. У деяких випадках спостерігається формування колончастої структури при стабільному імпульсному режимі;
- можливі дефекти: мікротріщини через високу жорсткість; необхідна оптимізація режимів для уникнення термічних напружень.

2. Мідь (Cu):

- структура покриття: аморфна або дрібнозерниста;
- особливості: м'яке та пластичне покриття з гарною електропровідністю, але зниженою зносостійкістю; характерна однорідна структура з мінімальними включеннями;
- можливі дефекти: недостатня товщина шару при надто короткому часі обробки; слабке зчеплення при неякісній підготовці поверхні.

3. Хром (Cr):

- структура покриття: колончаста або дрібнозерниста;
- особливості: тверде, хімічно стійке покриття з добре вираженою кристалічною орієнтацією; часто спостерігається формування колончастої структури з чітким кордоном з основою;
- можливі дефекти: тріщини при надмірному навантаженні, пори внаслідок нестабільного контакту електрода.

Порядок та зміст виконання

1. Підготувати зразки для обробки: виконати механічне шліфування поверхні до зернистості абразиву не нижче Р600 та знежирити поверхню.

2. Закріпити сталеву заготовку у тримачі катода та під'єднати її до негативного виходу установки ЕЛФА-541.

3. Встановити електродний дріт (мідь, хром або твердий сплав) у тримач інструмента з пружинним або пневматичним притиском і з'єднати з позитивним полюсом (анодом).

4. Налаштувати параметри режиму обробки на панелі керування установки: встановити значення напруги, частоти імпульсів, сили струму, тривалості імпульсу та загального часу обробки.

5. Увімкнути установку та здійснювати рівномірне переміщення електрода по поверхні заготовки з легким дотиком до неї, забезпечуючи утворення стійких іскрових розрядів.

6. По завершенню процесу вимкнути установку, зняти зразок і очистити поверхню від залишків електродного матеріалу.

7. Підготувати металографічний шліф: виконати поперечне шліфування, полірування та протравлювання 4 % розчином HNO_3 в етанолі для виявлення структури.

8. Провести дослідження мікроструктури отриманого покриття за допомогою мікроскопа ММ-10: визначити товщину шару, рівномірність, характер зчеплення з основою та наявність дефектів.

9. Заповнити таблицю результатів вимірів за кожним зразком (табл. 4.1).

10. Оформлення звіту.

Таблиця 4.1 –Результати вимірів і спостережень

Матеріал електрода	Напруга, В	Частота, Гц	Тривалість імпульсу, мкс	Час обробки, с	Товщина покриття, мкм	Коментарі щодо мікро-структури

Вимоги до оформлення та захисту звіту

Записати тему та мету роботи, описати обладнання та матеріали, навести послідовність виконання операцій електроіскрової обробки. У звіті навести короткий опис принципу дії установки та технології електроіскрової обробки, перелік використаних матеріалів і обладнання, детальний порядок виконання з посиланням на параметри обробки, заповнену таблицю результатів вимірів і спостережень, мікрофотографії або схематичні зображення покриттів, аналіз отриманих мікроструктур, а також висновки щодо впливу матеріалу електрода та режимів на структуру і якість покриття.

Контрольні питання

1. Які основні параметри впливають на процес електроіскрового легування?
2. Які функції виконує установка ЕЛФА-541 та як вона побудована?
3. Як відбувається перенесення матеріалу електрода на поверхню заготовки?
4. Які вимоги висуваються до підготовки поверхні перед електроіскровим нанесенням покриття?
5. Які матеріали можуть використовуватися як електроди в ЕЮ і як їх вибір впливає на властивості покриття?
6. Які дефекти можуть виникати при електроіскровому нанесенні та як їх виявити?
7. Які мікроструктурні особливості притаманні покриттям, отриманим методом ЕЮ?

Література: [10, с. 62–90; 11, с. 136–147]

Лабораторна робота 5

Технологія вібродугового наплавлення зносостійких матеріалів

Мета: формування практичних навичок розробляти і виконувати технологічний процес відновлення методом вібродугового наплавлення, дослідити вплив режимів процесу на формування наплавленого шару, проаналізувати структуру та властивості покриття, отриманого із застосуванням дрютяного електрода.

Матеріали та інструменти. Наплавочна установка в комплекті: токарний верстат, наплавочна головка ОКС 6569, джерело живлення ВДУ-506, балон з вуглекислим газом, підігрівник, осушувач, редуктор, пульта керування, дріт електродний Св-08ГС, вал, молоток слюсарний, зубило слюсарне, плоскогубці комбіновані, ключі гайкові 10×12, 11×14, 17×19, 22×24, 24×27 мм, індикаторна головка із стояком, штангенциркуль ШЦ I-125-0,1, щітка металева, фартух, рукавиці.

Теоретичні відомості та методичні рекомендації

Суть вібродугового наплавлення. Електродний дріт подається до поверхні деталі, яка знаходиться під струмом, з коливаннями, за рахунок яких відбувається періодичне замикання і розмикання електричної дуги між електродом і поверхнею деталі. Процес наплавлення складається з трьох фаз: короткого замикання, горіння дуги і холостого ходу.

Оплавлення поверхні деталі, плавлення електрода і формування зварного шва відбуваються на етапі горіння дуги. Для зменшення імпульсів струму, стабілізації горіння дуги, скорочення холостого руху до зварного ланцюга підключають індуктивний опір. Вібрація електрода зменшує тепловий вплив на деталь.

Процес вібродугового наплавлення відбувається в середовищі захисного газу, охолоджувальної рідини, під шаром флюсу і без захисту.

Вібродугове наплавлення забезпечує малу зону термічного впливу, покриття різної товщини з високою твердістю, зносостійкістю і незначними деформаціями поверхні деталі. Недоліком способу є неоднорідність структури, нещільність і пористість металу шва, які зменшують міцність і спричиняють втомленість деталі.

Вібродуговим наплавленням відновлюють циліндричні поверхні деталей із сталі і чавуну діаметром 15 мм і більше, які мають спрацювання не більш як 2 мм на сторону.

Наплавочна головка ОКС 6569 закріплюється на супорті токарного верстата і має такі параметри: продуктивність – 2,6–3,3 кг/год.; частота змінного струму живлення – 50 Гц; напруга мережі живлення – 380 В; тип зварювального струму – постійний; межі регулювання: зварювального струму –

100–500 А; зварювальної напруги – 15–35 В; частота коливання електрода – 75 Гц; амплітуда 0–3 мм; діаметр дроту, мм: суцільного перерізу – 1,2–2,0; порошкового – 2–3; швидкість подачі електродного дроту – 0,52–4,5 м/хв; діаметр наплавлюваних деталей, мм: зовнішній 15–350, внутрішній ≥ 45 ; споживна потужність – 0,4 кВт; габаритні розміри – 730×300×700 мм; маса – 70 кг.

Наплавочна головка (рис. 5.1) складається з електродвигуна, механізму подачі електрода, вібратора, змінних мундштуків, механізму піднімання, опори із затискачем, опорної плити, захисного щита.

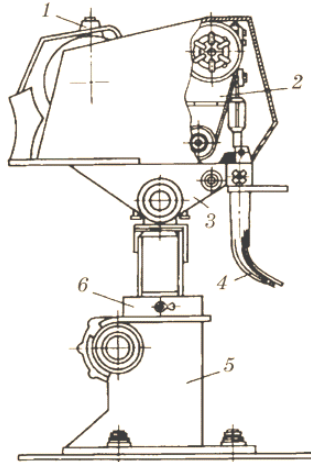


Рис. 5.1 – Наплавочна вібродугова головка ОКС 6569:

1 – електродвигун; 2 – механізм подачі дроту;

3 – вібратор; 4 – мундштук для підведення дроту до деталі;

5 – опорний вузол; 6 – механізм підйому

Механізм подачі електрода складається з двоступеневого черв'ячного редуктора, відкритої зубчастої пари, подаючих роликів і притискного пристрою. Швидкість руху електрода регулюється змінними шестернями (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Швидкість подачі дроту, кількість зубів шестерень

V_{op} , м/год	0,52	0,65	0,79	0,95	1,19	1,5	1,59	1,99	2,5	3,2	3,66	4,5
Z_1	18	21	24	27	31	35	36	40	44	47	50	53
Z_2	53	50	47	47	40	36	35	31	27	24	21	18

Вібрація електрода забезпечується за рахунок передачі обертання шківом на ексцентриковий вал, на якому розміщена ексцентрикова втулка, що шарнірно з'єднана з шатуном. Шатун передає коливання через коромисло змінним мундштукам.

Мундштуки призначені для підведення електрода, охолоджувальної рідини і газу до місця наплавлення, для передачі вібрації електроду і для підведення струму.

Опора із затискачем забезпечує поворот і фіксацію головки відносно вертикальної осі.

Механізм піднімання змінює відстань по вертикалі від кінця мундштука до поверхні деталі.

Конструкція головки передбачає можливість регулювання нахилу електрода. До головки кріпляться два барабани для намотування електродного дроту, які мають гальмівні пристрої запобігання самовільному розкручуванню барабанів.

Джерело живлення, випрямляч зварювального струму типу ВДУ-506, призначене для живлення зварювальних автоматів і напівавтоматів однополюсного механізованого зварювання в середовищі вуглекислого газу і під шаром флюсу, а також порошковим дротом.

Головні технічні характеристики випрямляча: номінальна напруга мережі живлення трифазного струму – 220, 380 В; номінальна частота – 50 Гц; первинна потужність – не більше 40 кВт; первинний струм при виконанні відповідно на 220 В/380 В не більше 105/62 А; напруга холостого ходу – не більше 85 В; номінальна робоча напруга відповідно для жорстких / падаючих зовнішніх характеристик – 18–60 В / 22–46 В; номінальний зварювальний струм для жорстких/падаючих зовнішніх характеристик – 60–500 А/50–500 А; тривалість циклу зварювання при ПВ 60 % – 10 хв.

Загальний вигляд зварювального випрямляча наведено на рис. 5.2.



Рис. 5.2 – Зварювальний випрямляч ВДУ-506 (КИУ-501)

Випрямляч складається з силового трансформатора, силового блока тиристорів, зрівняльного реактора, дроселя у зварювальному ланцюгу, автоматичного вимикача електромережі, блока керування, електродвигуна з вентилятором.

Токарний верстат переобладнаний під установку: в кінематичний ланцюг введено редуктор, який разом з верстатом забезпечує регулювання робочих обертів шпинделя в межах від 5 до 30 об/хв; на токарному патроні змонтовано електроконтактний пристрій; із супорта верстата знято різцетримач і верхні ползки.

Газова апаратура призначена для подачі захисного вуглекислого газу в зону горіння дуги. До її складу входять балон з вуглекислим газом, підігрівач, осушувач, редуктор, шланги, а також витратомір.

Підігрівач і осушувач очищають газ від вологи, оскільки при витіканні газу з балона зменшується його температура і наявність вологи може привести до закупорювання каналів вентиля і редуктора.

Для керування процесом наплавлення використовують пульт, на передній панелі якого розміщені амперметр, вольтметр, сигнальна лампочка, перемикач реверсування подачі електрода «Вперед» – «Назад», кнопки «Включено» – «Стоп» джерела живлення, механізму подачі і коливань електрода. На баковій панелі ліворуч розміщені вмикачі підігрівача і відсікача газу.

Проектування технологічного процесу. Вибір дроту. Для вібрودугового наплавлення використовують вуглецевий або легований зварювальний дріт діаметром 1–3 мм. Вибір дроту здебільшого залежить від потрібної твердості наплавленого шару. При використанні дроту, до складу якого входить до 0,4 % вуглецю, можна одержати шар твердістю до HRC 40–45. Із збільшенням у дроті вмісту вуглецю і легованих елементів твердість наплавленого шару зростає і може досягати HRC 55. Здебільшого для вібрودугового наплавлення використовують зварювальні дроти Св-08А, Св-08ГА, Св-10Г2, Св-08ГС, леговані Св-10ХМ, Св-18ХГСА, Св-08Г2СА, а також дроти із конструкторських високовуглецевих сталей 70, 75, 80 і пружинних сталей І і ІІ класів.

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

Діаметр електродного дроту вибирають залежно від товщини наплавленого шару і потужності джерела струму. Для шару товщиною до 1 мм беруть дріт діаметром 1–1,6, для шару 2 мм – діаметром до 2,5 мм.

Сила струму. Вібродугове наплавлення проводять при постійному струмі зворотної полярності (плюс до електрода, мінус до деталі). Силу струму визначають за густиною, користуючись формулою:

$$I = F_{dp} \cdot D_a = 0,785 \cdot d_{dp}^2 \cdot D_a,$$

де F_{dp} – площа перерізу дроту, мм²; $D_a = 60\text{--}90$ А/мм² – густина струму.

Напруга. Оптимальна напруга для вібрودугового наплавлення 14–22 В. Для малих товщин (до 1 мм) і деталей малих розмірів беруть менші значення, для більших – більші значення напруги. Для товстих шарів на великих деталях напругу збільшують до 24–28 В.

Швидкість подачі електродного дроту V_{op} і швидкість наплавлення V_H (м/хв) визначають за формулами:

$$V_{op} = \frac{l \cdot \alpha_h}{60 \cdot 0,785 \cdot d_{op}^2 \cdot \gamma};$$

$$V_H = \frac{0,785 \cdot d_{op}^2 \cdot v_{op}}{t \cdot S} K_1 \cdot K_2,$$

де $\alpha_h = 6,58,5$ г/(А · год) – коефіцієнт наплавлення; $\gamma = 7,6-7,9$ г/см³ – густина розплавленого металу; t – товщина наплавленого металу, мм; $K_1 = 0,8-0,9$ – коефіцієнт переходу електродного матеріалу в наплавлений метал; $K_2 = 0,8-0,95$ – коефіцієнт відхилення площі перерізу наплавленого шару від розрахункового.

Крок наплавлення визначають за формулою: $S = (1,6 - 2,2) \cdot d_{op}$.

Кількість обертів наплавлюваної деталі: $n = \frac{1000 \cdot V_H}{\pi \cdot d}$,

де d – діаметр деталі, мм.

Параметри установки електродного дроту: виліт електрода $\alpha = (5-10) d_{op}$; кут нахилу електрода $\alpha = 45-60^\circ$ при наплавленні поверхні деталі з галтелями; $\alpha = 90^\circ$ – без галтелей; зміщення електрода $\beta = 35-50^\circ$.

Амплітуда коливань електрода, мм: $A = (0,75-1,0) d_{op}$.

Витрати вуглекислого газу, л/хв – $q = 8-15$.

Машинний час наплавлення, хв: $T_m = \frac{L \cdot i}{n \cdot s}$,

де L – довжина наплавлення, мм; i – кількість проходів; S – подача електрода, мм/об.

Витрати матеріалів на наплавлення поверхні деталі визначають за формулами:

$$G_{op} = 0,785 \cdot d_{op}^2 \cdot V_{op} \cdot T_m \cdot \gamma \cdot G;$$

$$Q_{CO_2} = q \cdot T_m \cdot K_6,$$

де $K_6 = 1,15-1,25$ – коефіцієнт перевитрати газу за рахунок того, що подачу газу вмикають раніше, ніж дроту, а вимикають після закінчення наплавлення, а також витрати газу на продування системи.

Порядок та зміст виконання

1. Проаналізувати технологію відновлення деталей вібродуговим наплавленням, ознайомитись з обладнанням для вібродугового наплавлення,

зв'язком властивостей наплавленого шару з матеріалами і режимами наплавлення, межами використання вібродугового наплавлення при ремонті меліоративних і будівельних машин.

2. Підготувати вихідні дані для виконання роботи. Описати оснащення робочого місця, призначення і головні параметри обладнання для вібродугового наплавлення. У звіті накреслити кінематичну схему наплавочної головки. Виготовити форму операційної карти вібродугового наплавлення.

3. Описати оснащення робочого місця для вібродугового наплавлення деталей, розміщенням обладнання, пристроїв, інструменту, документацією.

4. Проаналізувати конструктивно-технологічну характеристику вала, який відновлюють (деталь дають на занятті).

5. Дослідити головні вузли і органи керування: наплавочної головки; випрямляча; системи подачі захисного газу; особливості конструкції токарно-гвинторізального верстата пристосованого для наплавлення; пристроїв для кріплення вала; характеристики обладнання і матеріалів для наплавлення.

6. Установити величину одностороннього спрацювання вала Δ_p і обчислити, товщину наплавлення спрацьованої поверхні вала:

$$\Delta_p = \Delta_{заг} \cdot \beta;$$

$$t = \Delta_p + z,$$

де $\Delta_{заг}$ – спрацювання шийки вала; $\beta = 0,6$ – коефіцієнт нерівномірності спрацювання; z – припуск на обробку поверхні, мм (для шліфування – до 0,6 мм, для точіння – до 1,5 мм на один бік).

Розрахунки товщини наплавлення і наступні розрахунки режимів наплавлення навести у звіті.

7. Розробити технологічний процес наплавлення деталі. Ознайомитись з технічними вимогами до відновленої поверхні. Підібрати марку і діаметр зварювального дроту, вид захисту і витрати, обладнання, пристрої, інструмент.

Вивчити спосіб базування і кріплення деталі. Скласти план операцій відновлення шийки вала (послідовність, зміст, методи контролю).

Визначити режими наплавлення: силу струму I , напругу U , швидкість подачі електродного дроту $V_{др}$, швидкість наплавлення V_n , частоту обертів деталі n , крок наплавлення S , параметри установки електродного дроту: виліт електрода a , кут нахилу електрода α , зміщення електрода β , частоту f і амплітуду A коливань електрода.

Визначені параметри (швидкість подачі дроту $V_{др}$, частоту обертання деталі n , крок подачі S) уточнити за характеристиками головки і токарного верстата.

Обчислити машинний час наплавлення T_m і витрати електродного дроту $G_{др}$ та вуглекислого газу Q_{CO_2} на наплавлення поверхні деталі.

8. Разом з майстром підготувати наплавочну установку до роботи. Заправити електродний дріт через механізм подачі в мундштук. Налагодити обладнання на запроєктовані режими (швидкість подачі дроту, частоту обертання деталі, крок наплавлення, кути нахилу, вміщування і виліт електрода, амплітуду коливань, витрати захисного газу, силу струму і напругу).

Установити деталь одним кінцем у патрон, ретельно відцентрувати, закріпити, підперти другий кінець центром. Радіальне биття наплавлюваної поверхні $\Delta_b \leq 0,1$ мм. Зачистити поверхню від забруднень до металічного блиску. Установити захисний екран.

Наплавити деталь. Переконавшись у безпеці присутніх у приміщенні, з дозволу викладача увімкнути джерело живлення. Надіти фартух, рукавиці, захисні окуляри. Включити електродвигун верстата, підігрівач газу. Подати газ. Рукояткою верстата включити обертання деталі. Увімкнути зварювальний струм, подачу супорта й електродного дроту. Виконати наплавлення відновлюваної ділянки. Після наплавлення послідовно вимкнути подачу дроту, струму, верстата, газу, випрямляч. Відкріпити і зняти деталь з верстата.

9. Проконтролювати виконання наплавлювальної операції. Визначити наявність раковин, тріщин, непроварів. Виміряти діаметр напавленої поверхні деталі.

10. Оформити звіт.

Вимоги до оформлення та захисту звіту

Записати тему та мету роботи, описати обладнання та матеріали, навести послідовність виконання операцій вібродугового зварювання. Навести у звіті опис технологічного процесу наплавлення з фіксацією параметрів струму, дати схему подачі дроту, заповнити таблицю експериментальних даних, дати аналіз отриманого шару за геометрією та структурою, описати візуальне або мікроскопічне підтвердження якості, висновки щодо впливу режимів та відповіді на контрольні запитання.

Контрольні питання

1. Яка суть і межі використання вібродугового наплавлення?
2. Яке обладнання і пристрої використовують для вібродугового наплавлення?
3. Яка будова і головні параметри наплавочної головки, випрямляча?
4. Які параметри режиму вібродугового наплавлення?
5. Яка послідовність розробки технологічної операції вібродугового наплавлення?
6. Як вибирають матеріали для вібродугового наплавлення?
7. Як визначити машинний час для наплавлення?

Література: [4, с. 11–21; 11, с. 10–124; 12, с. 44–48; 13, с. 97–104]

Лабораторна робота 6

Відновлення деталей наплавленням під шаром флюсу

Мета: формування практичних навичок розробляти і виконувати технологічний процес наплавлення під шаром флюсу, визначати впливи технологічних параметрів на структуру, геометрію і якість наплавленого шару, а також особливостей формування покриттів.

Матеріали та інструменти. Установка для наплавлення в комплекті: наплавочна головка А-580М, зварювальний перетворювач ПСО-500, верстат для установки головки, верстат для кріплення котка, щит розподільний, зварювальний дріт, флюс, з'єднувальні кабелі, підтримуючий або опорний каток, молоток слюсарний, зубило слюсарне, плоскогубці комбіновані, ключі гайкові 10×12, 11×14, 17×19, 22×24, 24×27 мм, штангенциркуль ШЦ П-250-0,05, щітка металева, щиток захисний, фартух, рукавиці.

Теоретичні відомості та методичні рекомендації

Суть автоматичного наплавлення під шаром флюсу (рис. 6.1) полягає у тому, що в зону горіння дуги, утвореної між деталлю і електродним дротом, що безперервно рухається, подається флюс. Під дією високої температури дуги відбувається плавлення металу деталі, електроду і частини флюсу, який утворює еластичну оболонку навколо дуги, що захищає її зону горіння і ванночку з розплавленим металом на поверхні деталі від шкідливої дії повітря. У міру віддалення від дуги за рахунок обертання деталі зварювальна ванна охолоджується, рідкий метал кристалізується і формує наплавочний шов, зверху якого утворюється шлакова кірка.

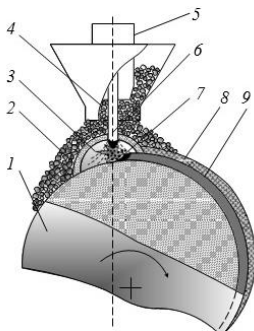


Рис. 6.1 – Схема наплавлення під шаром флюсу:

1 – деталь; 2 – шар флюсу; 3 – газовий простір; 4 – бункер із флюсом; 5 – мундштук;
6 – електрод; 7 – електрична дуга; 8 – шлакова кірка; 9 – наплавлений шар

Вона сповільнює охолодження наплавленого металу і поліпшує умови його структурних перетворень.

В зв'язку з тим, що виникають труднощі з утримуванням розплавленого металу на поверхні деталі (при недостатньому охолодженні шва утруднено видалення шлакової кірки), наплавлення під шаром флюсу в ремонтній практиці використовують для відновлення циліндричних поверхонь діаметром не менш як 50 мм і для зварювання та наплавлювання плоских поверхонь.

Зварювальні та наплавлювальні дроти залежно від хімічного складу поділяють на три групи: низьковуглецеві, леговані та високолеговані. Низьковуглецеві зварювальні (Св-08, Св-08А, Св-08АА, Св-08ГА, Св-10Г2) і наплавлювальні (Нп-30, Нп-40) дроти містять до 0,12 % вуглецю і призначені для зварювання та наплавлювання мало- і середньовуглецевих і деяких низьколегованих сталей.

Леговані зварювальні (Св-08Г2С, Св-08ХГСМФА та ін.) і наплавлювальні (Нп-10Г3, Нп-30Х та ін.) дроти містять до 6 % легованих елементів. Їх застосовують для зварювання і наплавлення вуглецевих та легованих сталей.

Високолеговані зварювальні (Св-12Х13, Св-06Х19М9Т та ін.) і наплавлювальні (Нп-2Х14, Нп-45Х2В8 та ін.) дроти використовують для зварювання і наплавлювання нержавіючих, вогнетривких та інших спеціальних сталей.

Широко застосовують для наплавки деталей під шаром флюсу порошкові дроти, що виготовляються на спеціальних верстатах методом волочиння із сталльної маловуглецевої стрічки і порошку, який містить феросплави й графіт марок ПП-АН-125, ПП-У15, ПП-Х12М-0, ПП-2Г13А та ін.

Зварювальні флюси призначені для захисту зварювальної зони від повітря, легування шва, для забезпечення стійкого горіння дуги і формування наплавлюваного валка та інших функцій.

Розрізняють плавлені та неплавлені флюси. Плавлені флюси – штучні силікати. До недоліків цих флюсів відносяться відсутність у їх складі феросплавів, вільних металів, вуглецевих речовин, внаслідок чого обмежуються їх розкислювальні та легуючі властивості. Здебільшого в ремонтній практиці застосовують флюси АН-348А, АН-60, АН-20, ОСЦ-45, що забезпечують при використанні вуглецевих і низьколегованих електродних дротів високу якість наплавлених швів.

Неплавлені (керамічні) флюси складаються з газоподібних, шлакоутворюючих, розкислювальних, модифікованих, легованих з'єднувальних елементів і дають можливість легувати наплавлений шов у широких межах при використанні дешевих низьковуглецевих електродних дротів. Керамічні флюси менш міцні і більш гігроскопічні порівняно з плавленими. Для наплавки деталей застосовують керамічні флюси АНК-18, АНК-19, АНК-30, ЖСН-1, які при наплавленні маловуглецевим дротом забезпечують високу твердість і стійкість проти спрацювання наплавленого металу. Флюси-суміші виготовляють здебільшого із плавлених і керамічних флюсів або на основі плавлених флюсів з додаванням ферохрому, феромарганцю, графіту. Виготовляють флюси-суміші з властивостями легового флюсу, застосування якого дає можливість значно підвищити твердість і стійкість наплавленого шару.

Лабораторна установка (див. рис. 6.2) призначена для демонстрування наплавлення під шаром флюсу.

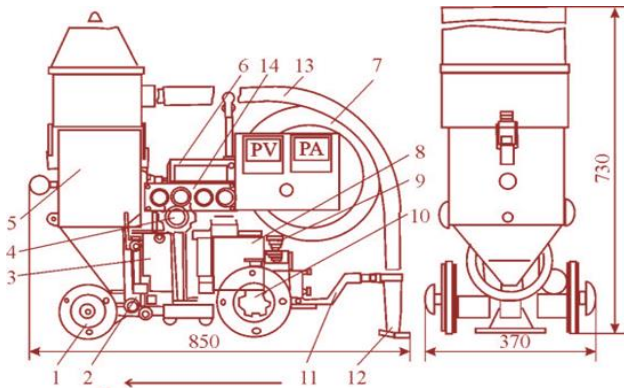


Рис. 6.2 – Напівавтомат для наплавлення під шаром флюсу:
1 – переднє шасі; 2 – струмопідведення; 3 – зварювальна головка;
4 – коригувальний механізм; 5 – бункер для флюсу; 6 – кронштейн;
7 – касета; 8 – двигун; 9 – ходовий механізм; 10 – маховик; 11 – кронштейн;
12 – сопло; 13 – шланг; 14 – пульт управління.

Наплавлювальний напівавтомат призначений для автоматичного наплавлення під шаром флюсу шарів металу на поверхні деталей, що підлягають відновленню, у тому числі наплавлення валків, роликів, колісних пар та інших виробів. Обладнання забезпечує виконання наплавлювальних валиків з різною шириною та товщиною у залежності від режиму та застосованих матеріалів. Трактор може працювати як з прямолінійним переміщенням, так і по напрямних копірах при наплавленні циліндричних або конічних поверхонь.

Наплавлювальний автомат є самохідним механізмом, що складається з редуктора подаючого пристрою, який входить до блоку наплавлювальної головки 3, та ходової візки, що включає переднє шасі 1 і ходовий механізм 9. Редуктор і ходовий механізм приводяться в дію від спільного електродвигуна 8. Швидкість наплавлення та швидкість подачі електродного дроту з касети 7 регулюються змінними шестернями. Подача дроту здійснюється наплавлювальною головкою 3. На її корпусі закріплені токопідвід 2 і кронштейни 6 з пультом керування 14. На кронштейнах встановлюються механізм корекції 4, правильний механізм для пластичної правки дроту (на схемі не показано), касета 7 та бункер із флюсом 5. Токопідвід 2 призначений для підведення наплавлювального струму до електродного дроту та його спрямування в зону наплавлення. Використовуються два ковзні пружні контакти з мідного сплаву, розташовані на відстані сухого вильоту близько 40 мм від зони горіння дуги.

Правильний механізм складається з трьох роликів, розташованих над механізмом подачі. Ступінь правки регулюється упорним гвинтом верхнього ролика. Механізм корекції забезпечує необхідне поперечне зміщення дроту відносно осі наплавлюваної поверхні та використовується для поперечного нахилу головки з метою точного встановлення електрода в площині копіра.

Пульт керування застосовується для контролю параметрів наплавлення та попереднього налаштування режиму. У комплекті з автоматом подаються змінні бункери для роботи у різних просторових положеннях електрода. В нижній частині бункера розташована направляюча голка, за допомогою якої оператор регулює напрямок переміщення дуги по поверхні деталі. Автомат комплектується джерелом струму на 1000 А та блоком керування наплавлювальним процесом.

Режими наплавлення встановлюються згідно з технологічними вимогами для конкретної марки сталі, електродного дроту та типу флюсу. Порядки дій оператора під час роботи такий:

Увімкнути джерело струму.

– закортити електрод на деталь, натиснувши кнопку «ВНИЗ»;

– увімкнути фрикційну муфту ходового механізму маховиком 10;

– подати флюс на закорочений електрод, відкривши заслінку бункера;

– подати стиснене повітря на ежектор для відсмоктування використаного флюсу;

– збудити дугу кнопкою «ПУСК»;

– завершити процес натисканням кнопки «СТОП» — дуга продовжує горіти 1–2 с для заварювання кратера з поступовим зменшенням струму, після чого відбувається відключення;

Якість наплавленого металу, твердість і стійкість проти спрацювання залежать від марки електродного дроту, флюсу і режимів наплавлення.

Марку електродного дроту вибирають відповідно до хімічного складу металу наплавлюваної деталі, необхідної твердості і стійкості проти спрацювання. Якщо не потрібні велика твердість і стійкість, використовують дріт марок Св-08, Св-08А, Нп-30, Нп-40, а якщо потрібні велика твердість і стійкість, то використовують дріт марок Св-30ХГСА, Нп-80, Нп-10ГЗ, Нп-3Х13, Нп-30ХГСА та інші. Плавлені флюси АН-348А, АН-60, ОСЦ-45 використовують, коли не потрібні велика твердість і стійкість проти спрацювання. З цими флюсами використовують дрони марок Св-08, Нп-30, Св-18ХГСА, Нп-30ХГСА, Св-08Г2С, Нп-80 та ін.

Діаметр електродного дроту вибирають залежно від товщини шару і У режим наплавлення металу під флюсом входять такі параметри: сила і рід струму, напруга електричної дуги, швидкість наплавлення, швидкість подачі електродного дроту, крок наплавлення, зміщення електрода відносно zenіту, виліт електрода, обертальна швидкість деталі тощо.

Сила струму впливає на глибину проплавлення і продуктивність процесу. Із збільшенням густини струму збільшується глибина проплавлення і зростає продуктивність, але погіршується формування наплавленого валика, збільшуються ймовірність проплавлення тонкостінних деталей і можливість їх деформації. Тому струм повинен бути мінімальним, але достатнім для забезпечення стійкого горіння дуги. Сила струму вибирається залежно від діаметра наплавлюваної деталі або товщини стінки в місці наплавлення. Здебільшого наплавлення деталей проводять при постійному струмі зворотної полярності.

Із збільшенням напруги збільшується довжина дуги. Це приводить до розширення шва при практично незмінній глибині проплавлення. Робочий діапазон напруг для наплавочних робіт становить 26–36 В.

Швидкість наплавлення визначає розміри і форму перерізу наплавочного валика. Із збільшенням швидкості до 20 м/год збільшується ширина валика, а глибина проплавлення зменшується за рахунок відносно більшої кількості розплавленого металу на одиницю довжини і його витіснення дугою на поверхню деталі. Збільшення швидкості з 20 м/год до 40 м/год супроводжується зменшенням ширини валика при практично незмінній глибині проплавлення. Подальше збільшення швидкості наплавлення зменшує глибину проплавлення і ширину валика.

Швидкість подачі електродного дроту залежить від сили струму і напруги і знаходиться в межах 50–500 м/год. На практиці її вибирають пробним наплавленням за якістю шва.

Крок наплавлення встановлюють так, щоб наступний валик перекривав попередній на 1/3 його ширини.

Виліт електрода приймається залежно від діаметра дроту і потрібної глибини проплавлення. Збільшення вильоту приводить до зменшення глибини проплавлення. Здебільшого виліт електрода приймають в межах 15–30 мм.

Оскільки режими наплавлення по-різному впливають на якість наплавленого металу, їх здебільшого назначають комплексно. Рекомендації щодо вибору режимів наплавлення для головки А-580М наведено у таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Режими наплавлення для головки А-580М

Діаметр деталі, мм	Швидкість наплавлення, м/год	Сила струму, А	Напруга дуги, В	Крок, мм	Діаметр дроту, мм	Товщина шару (на одну сторону), мм
50–60	16–24	140–150	26–28	3	1,6	1,5–2,0
67–75	16–28	170–180	26–28	3,5	1,6	1,8–2,5
80–100	16–32	180–200	28–30	4–5	2,0	2,5–3,5
150–200	16–36	220–250	30+32	5–6	2–3	3–5
250–300	16–36	250–280	30–32	6–7	2–3	3–5

Оскільки у верстата не передбачено регулювання обертів кількість обертів шпинделя на лабораторній установці визначають відповідно до кінематичного ланцюга верстата кріплення котка за формулою:

$$n_k = \frac{n_{дв}}{i_{заг}},$$

де $n_{дв}$ – кількість обертів вала електродвигуна (відповідно до характеристики двигуна); $i_{заг}$ – загальне передатне число, $i_{заг} = i_{чр} \cdot i_{зн}$; $i_{чр}$ – передатне число двоступеневого черв'ячного редуктора; $i_{зн}$ – передаточне число зубчастієї передачі, $i_{заг} = 6500$.

Машинний час наплавлення однієї реборди:

$$T_M = \frac{B \cdot i}{n \cdot S},$$

де B – ширина реборди котка, визначається вимірюванням або визначається за формулою:

$$B = \frac{D_3 - D_0}{2 \cos \beta_p},$$

де D_3 – зовнішній діаметр реборди; мм; D_0 – діаметр бігової доріжки котка, мм; $\beta_p = 12^\circ$ – кут нахилу реборди; $i = t_p/t$ – кількість наплавлюваних шарів на поверхню реборди; t_p – розрахункова товщина наплавлюваного шару, мм; t – товщина шару наплавлення на прийнятому режимі, мм; S – крок наплавлення, мм.

Витрати електродного дроту на наплавлення реборди:

$$G_{op} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{op}^2 \cdot V_{op} \cdot T_M \cdot y.$$

Порядок та зміст виконання

1. Ознайомитись з організацією робочого місця для наплавлення деталей під шаром флюсу. Проаналізувати конструктивно-технологічну характеристику деталі, яка відновлюється. З'ясувати суть відновлення деталей наплавлення під шаром флюсу. Ознайомитись з обладнанням для наплавлення під шаром флюсу, зв'язком властивостей наплавленого металу з матеріалами і режимами наплавлення, межами використання наплавлення під шаром флюсу під час ремонту автомобільної техніки і будівельних машин.

2. Підготувати вихідні дані для виконання роботи. У п. 1 звіту описати оснащення робочого місця, призначення і головні параметри обладнання для наплавлення під шаром флюсу. Виготовити форму операційної карти наплавлення під шаром флюсу.

3. Дослідити головні вузли і органи керування наплавочної головки, зварювального перетворювача, пристроїв для кріплення головки і котка, паспортні характеристики обладнання і матеріалів для наплавлення. Повторити правила техніки безпеки роботи на установці.

Без дозволу установку не вмикати!

4. Установити величину спрацювання реборди котка Δ_p , обчислити товщину наплавлення реборди:

$$t_p = \Delta_p + z,$$

де z – припуск на обробку реборди, мм (для точіння $z \geq 1$ мм).

Розрахунки товщини наплавлення і наступні розрахунки режиму наплавлення виконати в п. 2 звіту.

5. Розробити технологічний процес відновлення котка. Ознайомитись з технічними вимогами до відновленої реборди. Підібрати марку і діаметр зварювального дроту і флюсу, обладнання, пристрої, інструмент. Вивчити спосіб базування і кріплення котка для наплавлення реборд. Скласти план операції з відновлення реборди.

Визначити режими наплавлення: силу струму I , напругу U , швидкість подачі електродного дроту $v_{др}$, швидкість наплавлення v_n , частоту обертів котка n_k , крок наплавлення S , параметри установки дроту, зміщення мундштука і виліт електрода. Визначені параметри $v_{др}$ і n_k уточнити за характеристиками головки і верстата кріплення котка.

Обчислити машинний час наплавлення реборди T_m і витрати електродного дроту $G_{др}$.

Розробку технології наплавлення подати в п. 2 звіту, результати розрахунків занести до операційної карти, п. 3 звіту.

6. Разом з майстром підготувати наплавочну установку до роботи. Заповнити бункер флюсом, закріпити котушку з електродним дротом, заправити дріт через подавальний механізм і мундштук, налагодити механізм подачі дроту на запроєктовану швидкість, користуючись даними таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Швидкість подачі дроту, кількість зубів шестерень

$v_{др}$, М/ГОД	49	57,4	66,5	76,6	87,3	99,5	113	128	144	163	184	208	263	286	306	352	408
z_1	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48
z_2	50	48	46	44	42	40	38	36	34	32	30	28	26	24	22	20	18

Ручним механізмом поздовжньої подачі верстата кріплення головки, механізмом вертикального переміщення автомата, пристроєм повороту мундштука, механізмом подачі дроту встановити виліт електродного дроту і орієнтувати його положення відносно поверхні реборди котка. Перевірити полярність наплавлення («-» закріплюють на клемі мундштука).

Наплавити деталь. Переконайтесь у безпеці присутніх у приміщенні, з дозволу викладача запустити зварювальний перетворювач і у разі потреби відрегулювати силу струму. Кінець електродного дроту механізмом подачі дроту «закоротити» на реборду, відкрити заслінку бункера з флюсом, сформувати флюсом зону захисту зварювальної дуги. Увімкнути привід обертання деталі і подачу струму у зварювальний ланцюг. У процесі наплавлення контролювати силу струму, напругу, подачу флюсу в зону зварювання, видалення шлакової кірки. Стежити за положенням початку зварювального шва відносно електродного дроту. Досягнувши початку шва, механізмом верстата кріплення головки змістити електрод на величину кроку наплавлення.

Закінчивши наплавлення реборди, вимкнути електродвигун механізму подачі дроту, подачу струму у зварювальний ланцюг, перекриттям засувки припинити подачу флюсу, вимкнути механізм обертання деталі, зварювальний перетворювач, подачу струму на розподільну шафу. Відкрити і зняти деталь з верстата.

7. Проконтролювати виконання наплавлювальної операції. На око визначити наявність раковин, тріщин, непроварів. Виміряти товщину напвленої реборди. Результати записати в п. 4 звіту.

8. Оформити звіт.

Вимоги до оформлення та захисту звіту

Записати тему та мету роботи, описати обладнання та матеріали, навести послідовність виконання операцій наплавлення під шаром флюсу.

Проаналізувати теоретичні основи наплавлення під шаром флюсу, описати установки, матеріали, параметри процесу, алгоритм виконання технологічної операції, заповнити таблицю вимірювань (висота валика, глибина проплавлення), дати аналіз геометрії та зовнішнього вигляду напвленого шару, описати результати з точки зору ефективності відновлення, сформулювати висновки за результатами роботи.

Контрольні питання

1. У чому суть наплавлення під шаром флюсу?
2. З яких елементів складається установка для наплавлення під шаром флюсу?
3. Яка будова, робота, головні параметри наплавочного автомату?
4. Як розраховують товщину металу, що наплавляється на спрацьовану поверхню?
5. Як впливають режими наплавлення на якість наплавлення, глибину проплавлення основного металу, формування напвленого шва, стабільність горіння дуги?
6. Яка послідовність проектування технологічної операції наплавлення?

Література: [4, с. 21–32; 10, с. 5–39; 12, с. 45–48]

Література

1. Методи поверхневого зміцнення у процесі виготовлення деталей машин : навч. посіб. / Фесенко А. Г. та ін. – Дніпропетровськ : РВВ ДНУ, 2015. – 104 с.
2. Горик О. В. Дробоструминне очищення. Теорія і практика / О. В. Горик, Р. С. Черняк, А. М. Чернявський, Брикун О. М. – Полтава : Вид-во ПП «Аструя», 2021. – 326 с.
3. Бабак О. П. Зміцнюючі технології поверхнево-пластичної обробки : методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 132 «Матеріалознавство» / О. П. Бабак, С. Ф. Посонський, К. Е. Голенко, А. А. Вичавка. – Хмельницький : ХНУ, 2023. – 20 с.
4. Хітров І. О. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Ремонт машин та сучасні технології відновлення деталей» для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» денної і заочної форм навчання. Ч. 2, 3 / І. О. Хітров, Є. І. Тхорук, О. Г. Кірічок. – Рівне : НУВГП, 2017.
5. Федоренко С. М. Модернізація обладнання для гальванічних покриттів. – Харків : ХНТУСГ, 2016. – 300 с.
6. Ермолаєв В. О. Сучасні технології гальванічних покриттів. – Харків : Фоліо, 2016. – 290 с.
7. Беляєв С. А. Композитні матеріали в машинобудуванні : навч. посіб. / С. А. Беляєв, А. В. Песков. – Київ : Політехніка, 2021. – 254 с.
8. Пилипенко О. В. Композитні матеріали: методи дослідження та аналізу / О. В. Пилипенко. – Київ : НГУУ «КП», 2021. – 156 с.
9. Семенюк Л. В. Вуглепластики: властивості, особливості застосування / Л. В. Семенюк. – Дніпро : Ліра, 2018. – 148 с.
10. Сідашенко О. І. Практикум з ремонту машин. Загальний технологічний процес ремонту та технології відновлення і зміцнення деталей машин. Том 1. О. І. Сідашенко, О. В. Тіхонов, Т. С. Скобло та ін. За ред. О. І. Сідашенко, О. В. Тіхонова. Навч. посіб. – Харків: ТОВ «Пром-Арт», 2018 – 416 с.
11. Сідашенко О. І. Технологія ремонту машин та обладнання : навч. посіб. / Сідашенко О. І. Тіхонов О. І., Лузан С. О. та ін. – Харків : ХНТУСГ, 2017. – 361 с.
12. Погребна Н. Е. Способи зміцнення металів : навч. посіб. / Н. Е. Погребна, В. З. Куцова, Т. В. Котова. – Дніпро : НМетАУ, 2021. – 89 с.
13. Дирда В. І. Ремонт машин та обладнання : підручник для ВНЗ / В. І. Дирда, П. Т. Мельянов, Є. В. Калганков та ін. – Дніпропетровськ : Журфонд, 2015. – 292 с.

Зміст

Вступ	3
<i>Лабораторна робота 1</i> Відновлення деталей методом пластичного деформування.....	5
<i>Лабораторна робота 2</i> Формування відновлювальних покриттів електrolітичним хромуванням.....	13
<i>Лабораторна робота 3</i> Використання полімерних матеріалів для відновлення зношених деталей	18
<i>Лабораторна робота 4</i> Нанесення покриттів методом електроіскрової обробки.....	22
<i>Лабораторна робота 5</i> Технологія вібродугового наплавлення зносостійких матеріалів.....	25
<i>Лабораторна робота 6</i> Відновлення деталей наплавленням під шаром флюсу	33
Література	41

Форм. 22

Рис. 380 см²