

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти
« магістр »
бакалавр, магістр

на тему: «Удосконалення технології відновлення деталей спіканням
порошкових матеріалів»

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
назва ОПП
спеціальності 133 Галузеве
машинобудування
код та найменування спеціальності
ступеня вищої освіти «магістр» групи 1
Кошовий В.С.
Прізвище та ініціали здобувача вищої освіти
Керівник: Науменко О.А.
Прізвище та ініціали керівника
Рецензент: Науменко А.О.
Прізвище та ініціали рецензента

Полтава – 2023 року

ВСТУП

Сучасне сільськогосподарське виробництво оснащене різноманітною складною технікою, робота якої залежить від багатьох факторів, у числі яких значне місце займає стан, часто обумовлене якістю ремонту.

Ремонт сільськогосподарської техніки зв'язаний зі значними матеріальними, трудовими і грошовими витратами. Майже 40% металу витрачається на виготовлення запасних частин, які в основному і визначають собівартість ремонту машин. У зв'язку з цим у цей час велика увага приділяється використанню в народному господарстві вторинних матеріальних ресурсів, оскільки їх максимальне залучення в народногосподарський оборот є невід'ємною частиною роботи по економії засобів.

Відомо, що деталі сучасних машин і механізмів вибраковують при дуже малих зносах. Наприклад, понад 85% деталей автомобілів, тракторів і деяких інших самохідних сільськогосподарських машин стають непридатними при зносах до 0,2-0,3 мм, при втратах маси, що становлять десятки і навіть соті частки відсотка від маси самих деталей. При цьому значна кількість елементів і поверхонь деталей взагалі не зношується, що дозволяє досить ефективно використовувати більшість зношених деталей для їхнього відновлення.

У сучасному ремонтному виробництві для відновлення працездатності зношених деталей у більш 60 % випадків використовують зварювально-наплавочні процеси, які характеризуються низькою швидкістю введення теплової енергії, що обумовлює участь у теплових процесах значних обсягів матеріалу деталі і що негативно впливає на якість відновленої деталі. При цьому більшість зварювально-наплавочних методів відновлення мають товщину покриття порядку 1-5 мм, що визначає необхідність істотних величин шару, що знімається, при забезпеченні розмірів і шорсткості відновлюваних поверхонь.

З іншого боку, більшість важконавантажених відповідальних сполучень працюють в умовах гідродинамічного тертя і часто випробовують масляне голодування. Особливо це характерно в момент пуску двигуна або при експлуатації холодного двигуна, коли змащення більшості сполучень неможлива через відсутність масляної плівки. У такі моменти зношування деталей збільшується в 4 рази. Одним з методів зниження зношування може виступати створення на поверхні деталей пористих покриттів: пори в структурі шару відіграють роль мікрокишень, які в процесі нагрівання шару поступово витісняються і утворюють масляну плівку між тертьовими деталями.

Таким чином, при відновленні деталей, що працюють в умовах гідродинамічного змащення, необхідно вирішувати таке завдання: одержання тонких покриттів із забезпеченням пористості, необхідної для підтримки масляної плівки в тертьовій зоні.

Існуючі способи відновлення не можуть забезпечити вищевказані вимоги, тому виникає необхідність пошуку нових методів відновлення, з використанням нових джерел енергії, що є досить актуальним завданням.

Ціль дослідження - розробка технології відновлення деталей лазерною обробкою ультрадисперсних порошкових матеріалів на основі заліза.

Об'єкт дослідження - відновлені пористими покриттями зношені поверхні деталей машин.

Наукова новизна роботи:

- отримані результати дослідження структурно-фазового стану поверхневих металопокриттів, отриманих методом лазерного спікання порошкових матеріалів;

- отримані результати досліджень міцності і мікротвердості формованих металопокриттів;

- розроблена технологія створення зносостійких металопокриттів

лазерною обробкою порошкових матеріалів.

Практична значимість полягає в удосконаленні технологічного процесу відновлення золотника гідророзподільника Р 80 лазерним спіканням порошкових матеріалів.

1. СТАН ПИТАННЯ, ЦІЛЬ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Зношування сполучень

Основною причиною втрати працездатності машин у процесі експлуатації є механічне стирання сполучень. Для пояснення природи тертя і зношування при механічному стиранні існують три теорії, які зводяться в основному до механічного, молекулярного і молекулярно-механічного взаємодіям між тертьовими поверхнями [1].

Найбільш загально визнаною є молекулярно-механічна теорія зношування. Ця теорія виходить із припущення, що тертя має двоїсту природу і обумовлене як взаємним впровадженням мікроступів тертьових поверхонь, так і силами молекулярної взаємодії.

Залежно від конструкційних і експлуатаційних параметрів сполучень можуть створюватися режими для гідродинамічного змащення. В умовах гідродинамічного змащення між тертьовими поверхнями виникає зазор, що перевищує суму максимальних висот мікронерівностей цих поверхонь, який утворює масляний клин і тим самим розклинає тертьові деталі.

Від режиму змащення сполучення при експлуатації багато в чому залежить від зношування і тим самим величина зношування. Найпоширенішими видами зношування є абразивне, адгезійне, втомне, кавітаційне, корозійне і ерозійне.

Зношування поверхневих шарів твердих тіл обумовлене процесами, що протікають у зонах фактичного торкання твердих тіл і на поверхнях, що зазнають тертя. Перерахованим вище видам зношування відповідають чотири типи порушення фрикційних зв'язків, що виникають при взаємодії твердих тіл, при терті.

Абразивне зношування відбувається в результаті впливу на поверхню тертя твердих часток, що втримуються в мастильних матеріалах або в робочому середовищі. Цей вид зношування широко розповсюджений у сполученнях робочих органів сільськогосподарських і землерийних машин.

Особливо це характерно в пилових умовах роботи або при експлуатації машини з порушеною повітроочисною системою, коли частки пилу, потрапляючи в зазор сполучень, з мастильним середовищем впроваджуються в більш м'які тертьові поверхні, утворюючи подряпини і мікропори, що приводить до форсованого зношування і швидкого виходу з ладу вузла тертя. Однак у більшості вузлів тертя абразивне зношування не характерне для нормальної експлуатації.

Втомне зношування з'являється в результаті повторного деформування поверхневих шарів твердих тіл при зовнішньому терті; найбільше характерно для нормального режиму роботи переважної більшості рухливих з'єднань, що працюють в умовах гідродинамічного тертя. На інтенсивність втомного зношування суттєво впливає напружений стан у зонах торкання твердих тіл. Залежно від напруженого стану в зоні торкання розрізняють втомне зношування при пружному і пластичному контактах [1].

Кавітаційне зношування виникає внаслідок кавітаційних явищ у мастильному матеріалі при відносному переміщенні твердих тіл. Загальним випадком є кавітаційно-абразивне зношування, що з'являється в результаті спільної дії абразиву, що перебуває в мастильній рідині і кавітаційних явищ [2]. Цей вид зношування має місце в паливопроводах, насосах, підшипниках ковзання, що працюють в умовах гідродинамічного змащення, у гідророзподільниках тощо. В умовах граничного тертя цей вид зношування малоімовірний.

Корозійне зношування містить у собі різні різновиди впливу середовища на руйнування поверхневих шарів тертьових твердих поверхонь. Руйнування відбувається в поверхневих шарах у результаті протікання електролітичних процесів, активованих механічними діями і самих механічних впливів. Цей вид зношування має надзвичайно широке поширення в рухливих сполученнях, що працюють у середовищах, що містять корозійно-активні речовини.

Адсорбційне-корозійно-втомне зношування найпоширеніше в рухливих сполученнях, що працюють в умовах гідродинамічного тертя. Втомне і

корозійно-механічні види зношування є окремими випадками цього виду зношування. Зношування є результатом фрикційної втоми поверхневих шарів, що виникає при їхньому багаторазовому деформуванні, і корозійних процесів.

Особливим видом зношування, характерному для нерухливих сполучень є фретинг-корозія. Розвитку фретинг-корозії сприяють виникаючі в процесі експлуатації в сполучених поверхнях вібрація, зворотно-поступальні переміщення, періодичний вигин і скручування сполучених поверхонь деталей. Відзначається, що на поверхнях контакту, ушкоджених фретинг-корозією, протікають різні по своїй природі фізико-хімічні процеси, що супроводжуються окисненням і корозією. При цьому довговічність роботи з'єднання визначається умовами навантаження, залежить від властивостей матеріалів і навколишнього середовища, у яких проявляється переважна дія одного з перерахованих процесів. Однак схоплювання є провідним процесом зношування при фретинг - корозії і найчастіше зустрічається в пресових з'єднаннях, де в процесі складання і експлуатації розвиваються більші питомі навантаження [2].

Дії фретинг-корозії і інших видів зносів зазнають деталі ходової частини, трансмісії тракторів і автомобілів, що працюють у напружених умовах.

Найбільше зношування нерухливих сполучень типу «вал-підшипник кочення» випробовують у процесі перепресування під час ремонту. При незначних швидкостях переміщення і при запресовуваннях з надмірним натягом під час монтажу розвиваються значні питомі навантаження і на доріжках кочення з'являються залишкові деформації зминання. При цьому відбувається зминання робочих поверхонь, як доріжок підшипників кочення, так і з'єднання, зріз микронерівностей з поверхні деталі матеріалом часток більш твердого металу, утворення металевих зв'язків і наступний відрив плям контакту, утворення ділянок з невеликими зазорами і підвищеною пластичною деформацією в результаті взаємного впровадження більших нерівностей, а також збільшується опір матеріалу пластичної деформації.

Залежно від виду зношування величина зношування деталей машин коливається в широких межах від 0,01 до 10 мм. Численними дослідженнями встановлено, що величина зношування, приблизно 80..85% деталей, не перевищує 0,3мм (рис. 1.1) і становить 0.001...0.003 обсягу металу обмеженого поверхневого контакту деталей, що сполучаються.

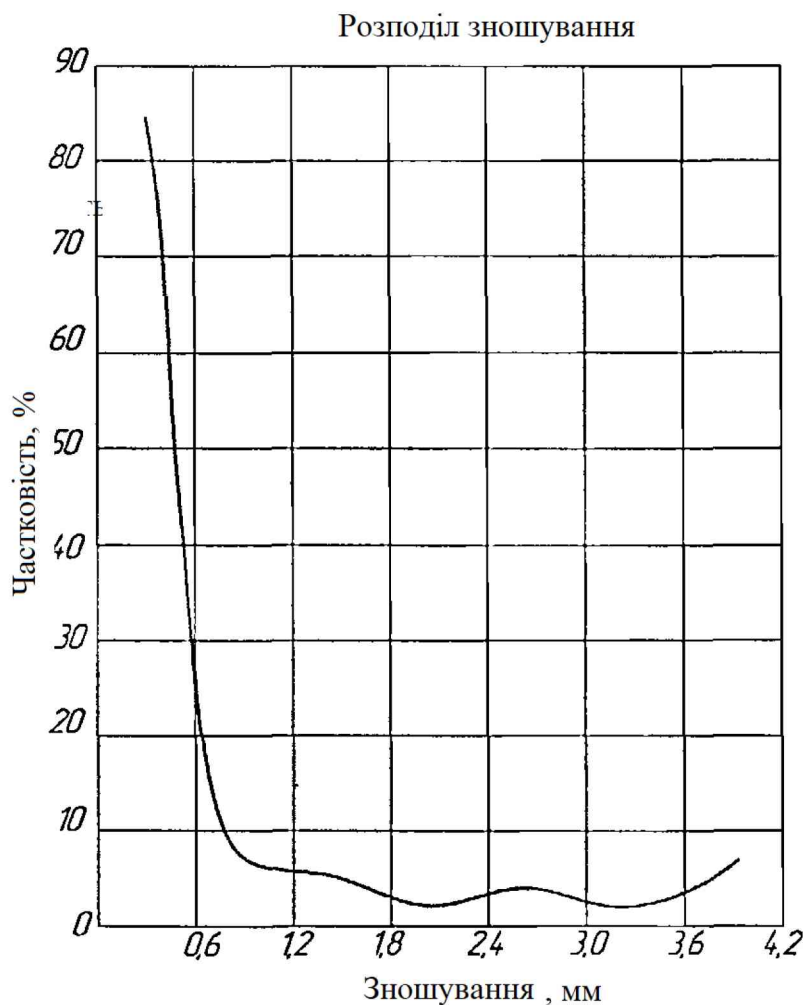


Рисунок 1.1 - Розподіл зносів деталей сільськогосподарських машин

З наведеного аналізу випливає, що залежно від ряду конструктивних, експлуатаційних, технологічних факторів понад 80% деталей сучасних машин і агрегатів стають непридатними при зносах 0,3 мм і вимагають наступного ремонту і відновлення.

1.2 Пористі матеріали як засіб підвищення зносостійкості покриттів

Одним зі способів збільшення довговічності і надійності ремонтovаних деталей може слугувати одержання на поверхні пористих шарів, які мають підвищені антифрикційні властивості

Властивості, що визначають антифрикційність пористих шарів, спрямовані на збереження масляної плівки певної товщини під час роботи тертьової пари.

Так, вказується, що зноси при запуску і прогріві двигуна становлять понад 60% від загальних зносів за час експлуатації автомобіля. При запуску ж гарячого двигуна його зношування таке ж як при роботі двигуна протягом 2-х годин. Тому, в умовах запуску механізмів питання, самозмащення має велике значення [3].

Пористі матеріали мають гарне припрацювання, тому що сама пористість забезпечує додаткову в порівнянні з компактним матеріалом можливість приробітки шляхом вдавнення і переміщення окремих часток у суміжні пори.

Дослідження пористих матеріалів на тертя показують, що вони мають самозмащення, гарне припрацювання, мають малий коефіцієнт тертя і забезпечують незначну температуру на поверхні тертя. Ефект самозмащення пористого матеріалу забезпечується змочуваністю і проявляється різко при підвищенні температури поверхні тертя за рахунок різного об'ємного розширення металевої основи, що перебуває в порах мастила.

Виступаюче мастило спочатку утворює мікрокліни, що відтискують поверхні, які відносно переміщуються, а потім утворює граничні шари, що охороняють поверхні від схоплювання і катастрофічного зношування. Дослідження ефекту самозмащення показують, що явище може сприяти підвищенню зносостійкості і протизадирних властивостей матеріалу, а також є важливим чинником збереження рідинного тертя, товщина масляної плівки виявляється менше мінімальної розрахункової і створюються умови напіврідинного або граничного, а нерідко і тертя без змащення. Зменшення

швидкості відносного ковзання так само сприяє утворенню ділянок граничного тертя. Наявність пористої поверхні, навіть на одній з деталей, унеможливорює захоплення поверхонь. При нагріванні поверхонь сполучення внаслідок температурного розширення обсяги пор збільшуються, одночасно збільшує свої обсяги і змащення, що перебуває в порах. Внаслідок більшого теплового розширення змащень останні виходять із пор, розклинаючи, роз'єднуючи поверхні і у такий спосіб крім сухого тертя і забезпечує граничне. При певних характеристиках пористості запасу змащення в порах може виявитися достатнім навіть для ускладнених тривалих запусків.

Однак припрацювання зі збільшенням пористості не поліпшується. Так, при низькій пористості, усмоктується менша кількість масла і тому поверхня гірше припрацьовується. З підвищенням пористості падає міцність матеріалу, що приводить до руйнування металу на поверхні, викрашуванню часток і збільшенню самого процесу приробітки.

Надійність сполучень, що мають пористе покриття на валу, при роботі в умовах рідинного тертя вище, ніж для сполучень з компактних матеріалів.

Дослідження показали, що пористість на валу сприяє встановленню більш стабільного режиму рідинного тертя як при статичному навантаженні, так і при динамічному.

В умовах гідродинамічного тертя наявне в капілярних каналах пористої поверхні мастило можна розглядати і як тимчасовий аварійний запас, за рахунок якого в сполученні при голодуванні якийсь час може підтримуватися рідинний режим тертя.

Гарні результати по зносостійкості пористі матеріали показали і в умовах динамічного навантаження. Експлуатаційні випробування сполучень, що мають пористість на одній з поверхонь, показали що зносостійкість їх набагато вище, ніж для сполучень компактних тіл того ж матеріалу. Зокрема, зносостійкість пористого заліза на 40...45% вище зносостійкості гладкого електролітичного заліза, при нанесенні пористого хрому на дзеркало циліндрів

автомобільного двигуна зношування кілець знижується в 3...4 рази, зношування самих циліндрів - на 20...25%; термін служби сполучень: «фаска клапана – гніздо головки блоку», «тарілка штовхача – кулачок розподільного валу» двигуна при наявності пористого металокерамічного покриття на клапані і тарілці штовхача підвищується в 1,3...1,4 рази проти серійних сполучень.

Аналіз робіт, виконаних по відновленню рухливих сполучень із одержанням пористості на одній з поверхонь тертя, показує, що для різних умов роботи сполучень оптимальною є різна пористість. Так, при використанні пористих металокерамічних вставок у гільзах автомобільних двигунів у роботі пропонується 15-17% пористість вставок.

1.3 Існуючі способи одержання тонких пористих покриттів

Як вказувалося вище, при відновленні працездатності зношених деталей у більш як 60% випадків використовують зварювально-наплавочні процеси, які характеризуються високими термічними впливами і одержанням товстих шарів.

Відновлення способами наплавлення деталей з малими зносами, з метою одержання тонких, якісно наплавлених шарів металу, забезпечення малого припуску на механічну обробку і незначний термічний вплив на матеріал деталі, зв'язано з рядом труднощів, а саме:

- неможливістю одночасного виконання всіх вимог, пропонованих до шару, що наплавляється в одному технологічному процесі існуючими способами наплавлення;

- відсутністю технологічних процесів і устаткування, що забезпечують високу якість наплавленого шару, продуктивність і малу товщину наплавлення;

- труднощами досягнення низької собівартості відновлення зношеної деталі в порівнянні з новими.

Вартість відновлення одиниці поверхні деталей різними способами

перебуває в прямої залежності від величини зношування і при відновленні деталей з малими зносами багато з цих способів конкурують між собою. Однак кількість способів, що забезпечують високу твердість і зносостійкість при малих припусках на механічну обробку, досить обмежене.

1.3.1 Електроконтактне напикання порошкових композицій і стрічок

Широке застосування в ремонтному виробництві одержують процеси, пов'язані з електроконтактною приваркою металевої порошкової стрічки і напиканням металевих порошоків. Сутність процесу ЕКН полягає в тому, що в проміжок між мідним електродом і деталлю подається вихідний матеріал (стрічка, дріт, порошок), що має певний електричний опір. При проходженні електричного струму високої щільності ($2000 \dots 4000 \text{ А/см}^2$) і низької напруги ($2,5 \dots 4,0 \text{ В}$) через матеріал, що прокочується, останній нагрівається до температури плавлення (напикання) і під дією прикладеного навантаження сплавляється (спікається), утворюючи тонкий нарощений шар.

Електроконтактним напиканням металевих порошоків одержують шари заданої товщини від 0,3 до 1,0 мм. Процес електроконтактного напикання протікає при швидкостях 0,17...0,35 м/хв і 0,5..1,5 м/хв у випадку використання як електрода вузького ролика. Варіант напикання із застосуванням вузького ролика рекомендований для відновлення деталей нерухомих сполучень. Однак він не знайшов застосування в ремонтному виробництві через більші втрати порошкового матеріалу в процесі напикання і відсутності гарних дозуючих пристроїв. У загальному випадку продуктивність електроконтактного напикання досягає $16,7 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ при незначній зоні термічного впливу до 0,6 мм.

Напечені шари мають незначну твердість (20...30 HRC) при пористості 8...25 % і, незважаючи на відсутність сплавлення, міцність зчеплення шару з основою досягає 150...300 МПа і багато в чому залежить від режимів напикання. Завдяки наявності мікропористості, напечені шари мають гарне мастиловбирання і зносостійкість, що перевищують зносостійкість серійних

деталей в 1,5...2,0 і більш разів. Але при одержанні тонких пористих покриттів використовувати дану технологію не вигідно з наступних причин:

- по-перше, товщина металевої основи, на яку проводиться напикання, повинна бути не менш п'яти міліметрів, тому що на неї діє великий тепловий вплив, у результаті ця основа може розплавитися через надмірний перегрів або змінити свої геометричні розміри;

- по-друге, при використанні металевої основи з товщиною стінки 5-6,5 мм у процесі обробки після напикання буде зніматися великий шар, а напечений мікропористий шар, що залишився на основі після обробки, буде мати значно меншу мастилоємність внаслідок невеликої своєї товщини.

Відома технологія одержання пористого покриття напиканням порошкових стрічок є більш прийнятною, оскільки дана технологія дозволяє одержувати більш тонкі шари з невеликим термічним впливом. При електроконтактному напиканні порошкових композицій необхідно забезпечити одночасне спікання порошкової композиції в стрічку і формування напеченого шару на поверхні деталі, поки вона перебуває в пластичному стані, що призводить до значних термічних впливів і знижує продуктивність процесу. При використанні порошкових стрічок не потрібне спікання порошкових часток у структурі стрічки, а виникає лише необхідність напикання стрічки на поверхню металевої основи. Це обумовлює можливість використання порошкових стрічок з різним змістом хімічного складу і одержання тим самим покриттів із широкими межами фізико-механічних властивостей. Однак, незважаючи на зазначені переваги, ЕКН порошкових матеріалів і порошкової стрічки, мають свої недоліки:

- у процесі напикання порошку від дії статичного навантаження, прикладеної до роликів, вал у зоні більших температур зазнає прогину й надалі вимагає операції виправлення з підігрівом до температури 673...693°C;

- не вирішена проблема механізованої і дозованої подачі металевих порошків в зону напикання;

- відсутнє промислове виробництво різномарочних порошкових

матеріалів і стрічок і спеціального устаткування для напикання;

- невисока міцність зчеплення шару в порівнянні з наплавленим металом;

- утруднена обробка напечених поверхонь через швидке забруднення кіл, що викликає необхідність їх частого виправлення.

Ці недоліки суттєво звужують область застосування цього способу і вимагають пошуку більш продуктивних, якісних (з погляду міцності зчеплення) способів відновлення.

1.3.2 Плазмове напилювання і газотермічна металізація

Плазмове напилювання є розвитком електродугової металізації і газополуменевого напилювання, не викликає жолоблення деталі, зміни структури металу, дозволяє наносити покриття товщиною 30 мкм і вище. Мінімальна товщина покриття обмежується розміром часток порошку і труднощами подачі його в плазмовий струмінь внаслідок поганої сипкості. Нанесення покриттів великої товщини призводить до небезпеки відшарування її від основи деталі у результаті виникаючого в шарі силового нуля залишкових напруг, тангенціально і нормально спрямованих до поверхні розподілу «покриття - основний метал».

Плазмовому напилюванню властиві:

- нанесення покриттів практично з будь-яких матеріалів (металів, окислів, карбідів тощо) внаслідок високої температури плазми (7000...15000°C);

- одержання шарів наплавленого металу високої твердості, що досягає 70 HRC, пористістю 2...15 %;

- застосування самофлюсувальних (матеріалів) сплавів СНГН, ВСКГН, ПГСР-4 тощо, з наступним оплавленням нанесеного шару з метою одержання високої міцності зчеплення шару з основою деталі (від 30 до 300 МПа) при температурі до 1000°C.

Теоретичними і експериментальними дослідженнями встановлено, що

мінімальна міцність зчеплення, при якій можливе застосування покриттів без небезпеки відшарування в процесі експлуатації, повинно бути не менше 59...83 МПа. Розглядаючи із цієї позиції показник відновлюваних поверхонь, слід сказати, що найменшою міцністю зчеплення (7,5...18 МПа) мають покриття, нанесені електродуговою металізацією і газополуменевим напилюванням (25...35 МПа). Міцність же зчеплення покриттів, нанесених плазмовим напилюванням, досягає 40...60 МПа і головним чином залежить від якості і способу підготовки поверхні деталі.

Газотермічні способи нанесення покриттів на поверхні зношених деталей знайшли обмежене застосування в практиці ремонтного виробництва по наступних основних причинах:

- складність, недостатня надійність і висока вартість устаткування;
- відсутність і висока вартість самофлюсувальних сплавів, необхідність повторного нагрівання деталі для наступного оплавлення нанесеного шару до температури 1000°С и, як наслідок, висока собівартість відновлення зношеної деталі;
- низький коефіцієнт використання наплавочних матеріалів (60...80%), високий шум і сильне світлове випромінювання;
- низька міцність зчеплення покриття з основою деталі і можливість його відшарування в процесі роботи сполучень;
- труднощі обробки відновлених поверхонь шліфуванням внаслідок забруднення кіл залізними частками.

1.3.3 Електроіскрове наплавлення

Електроіскрова обробка, як один зі способів відновлення деталей з малими зносами, широко використовується в цей час. Процес електроіскрової обробки металевих поверхонь заснований на використанні дії імпульсного електричного розряду, що проходить між електродами в газовому середовищі. Сутність його полягає в тому, що при іскровому розряді в газовому середовищі відбувається переважне руйнування матеріалу електрода (анода) і перенос

продуктів ерозії на поверхню деталі (катод).

Для одержання тонких покриттів використовують електроіскрове наплавлення. У процесі наплавлення можна одержувати покриття товщиною від 0,25 мм до 1,5 мм і більші. Наплавлення однаково успішно можна робити практично для всіх залізобетонних сплавів, з використанням готових присадкових матеріалів - від чистих металів до складних карбідоутворюючих сплавів.

Мікротвердість поверхні і глибина зони термічного впливу залежить від енергії одиничних іскрових імпульсів. Так, при ЕІО сталей і чавунів твердим сплавом Т15К6 на режимах із тривалістю імпульсу 40...150 мкс і енергією розряду 1,0 Дж досягається найбільша мікротвердість, при мінімальній товщині дифузійної (перехідної) зони. Зі збільшенням енергії і тривалості розряду твердість поверхневих шарів, сформованих зі сплавів ТК і ВК, звичайно не перевищує 1000...1200 МПа, але товщина перехідного шару збільшується.

Хімічний склад матеріалу основи суттєво впливає на основні характеристики покриттів. Це пояснюється тим, що на мікротвердість покриттів значно впливають легуючі елементи матеріалу основи, які концентруються в білому шарі. Чим більше в складі сталі тугоплавких легуючих елементів з високою вихідною твердістю, тим вище мікротвердість покриттів. Пористість покриття характеризує наявність або відсутність наскрізних каналів, що проходять від поверхні нанесеного шару до основного металу. При електроіскровому наплавленні суцільність покриття, як правило, менше 100%, тому що уникнути утворення невеликої кількості мікроканалів, що проходять крізь шар покриття, не вдається. Це обумовлене утворенням оксидних часточок, що погано зчіплюються з поверхнею і відколюються від неї. Крім того, у процесі наплавлення профіль поверхні грубіє, і розряди проходять по вершинах нової, більш грубої шорсткості, утворюються «зводи», тобто вершини шорсткості замикаються й поглиблення залишаються не обробленими. Ця властивість поверхонь характеризується пористістю

покриття. На суцільність і пористість шару значно впливає підготовка поверхні перед наплавленням. Хоча знежирювати або протравлювати поверхні перед обробкою не потрібно, але оксидні плівки повинні бути вилучені. Чим нижче шорсткість поверхні яка підлягає ЕІО, тим вище суцільність і менше пористість покриття. Так, при збільшенні параметра Ra з 4 до 12 мкм товщина покриття знижується до двох разів, суцільність покриття до чотирьох разів. Тому поверхня повинна бути відшліфована до $Ra \leq 1,25$ мкм.

Основним недоліком процесу формування покриття електроіскровим наплавленням є нестабільність іскри через вібрації кінця електроду. Утворення іскри відбувається по найменшій відстані від кінця електрода до поверхні деталі. Тому, при вібрації, утворення наплавленого валика відбувається не по лінії, а з деяким розкидом. У результаті утворюються більші ненаплавлені ділянки поверхні, що значно збільшує гребнистість і несучільність покриття. В умовах одержання тонкого покриття несучільність покриття відіграє негативну роль, оскільки значно зменшується когезійна міцність шару і зменшується загальна площа контакту.

1.3.4 Гальванічні покриття

У ремонтному виробництві при відновленні сполучень (шийок валів і осей, посадкових місць під підшипники кочення корпусних деталей) одержали розвиток хімічні способи одержання металопокриттів шляхом електролізу (залізнення, хромування). Для одержання нарощеного шару металу однакової товщини по всій поверхні відновлюваної деталі найчастіше процес електролізу ведуть із застосуванням електролітів великої розсіювальної здатності, (хлористі електроліти) з реверсуванням струму або на асиметричному струмі промислової частоти .

З метою забезпечення більшої зносостійкості одержувані покриття забезпечують пористістю. Пористість утворюється під впливом внутрішніх напружень у процесі електроосадження.

У результаті дослідження внутрішніх напружень у покриттях різних типів і структур встановлено, що з підвищенням температури електроліту зі зниженням щільності струму пористість покриття зменшується [5]. Так, наприклад, зі збільшенням температури електроліту від 35 до 75 °С пористість покриттів знижується в 5...15 разів, а при досягненні щільності струму від 120 до 20 А/дм - в 2-7 разів [5].

Зі збільшенням коефіцієнта пульсації від 10 до 48 % пористість покриттів зменшується до 2 разів. У випадку інтенсивності перемішування пористість покриттів зростає. Так, наприклад, у випадку хромування в саморегульовальному сульфатному електроліті з добавкою дрібнодисперсних часток при числі Рейнольдса від 30000 до 300000 пористість покриттів зростає в 2 рази. Швидше за все, це відбувається внаслідок утворення більш напружених електрохімічних осадів хрому.

Отримані дані про пористість хромових покриттів різних типів дозволяють зробити висновок про те, що товщина осадів хрому з мінімальною пористістю повинна бути для сірих у межах від 150 до 200 мкм. Збільшення товщини осадів хрому приводить до збільшення пористості осаду і тим самим зниженню зчіплюваності хрому з основним металом і зниженню корозійної стійкості.

Технологічний процес нанесення гальванопокриттів включає більш 15 операцій, 10...12 з яких безпосередньо впливають на міцність зчеплення і обумовлюють не менш 10 % браку. Крім того, недоліком технологічного процесу є складність і недостатня надійність способу нарощування. При цьому відновлення деталей з незначною зношеною поверхнею вимагає захисту всієї іншої поверхні деталі, що не підлягає відновленню. При відновленні великогабаритних деталей залишається досить низьким ККД використання обсягу ванни і потрібні більші виробничі площі. Велике споживання питної води в промивних операціях і шкідлива дія стічних вод на навколишнє середовище викликає необхідність створення очисних споруджень, що за вартістю і по займаній площі відповідає гальванічному цеху.

1.3.5 Лазерне наплавлення

Більш перспективним способом з огляду нанесення різних металевих покриттів є використання лазерного випромінювання.

Лазерне випромінювання має відмінні енергетичні властивості стосовно інших джерел енергії (табл.1.1). Завдяки вузькій спрямованості променя і високої щільності потужності (до 10^{10} Вт/см²), лазерна обробка багаторазово знижує термічний вплив на поверхню деталі, що досягається миттєвим введенням теплової енергії в приповерхневі шари на глибину близько 10^{-5} м. При цьому температура в плямі контакту досягає 1 млн.°С, градієнт температури досягає 10^8 К/см і швидкість охолодження до 10^{10} К/с. Процес лазерної обробки може бути реалізований з використанням як імпульсного, так і безперервного випромінювання.

Таблиця 1.1 - Характеристики різних джерел енергії

Джерело енергії	Площа зосередженої енергії в плямі, см ²	Щільність енергії, Дж/см ²	Температура в плямі контакту, °С
Лазерний промінь	10^{-7}	10^{10}	10^6
Електронний промінь	10^{-7}	10^7	10^5
Електронна дуга	10^{-3}	10^5	6×10^3
Киснево-ацетиленовий промінь	10^{-2}	10^4	3×10^3

Найбільше застосування одержали лазери безперервного випромінювання, оскільки забезпечують постійне значення потужності, високу швидкість обробки і можливість регулювання потужності за рахунок зміни діаметра лазерного пучка в плямі контакту.

Імпульсно-періодичні лазери з малою тривалістю імпульсів і високою

частотою повторення знаходять застосування в селективній технології. У ряді випадків поверхневої обробки з метою аморфизації, зварювання, різання, прошивання отворів також можуть успішно застосовуватися імпульсно-періодичні газові лазери. Однак можливості імпульсно-періодичних лазерів вивчені недостатньо і перебувають у стадії дослідження.

Керуючі інтенсивністю лазерного випромінювання, можливо реалізувати різні процеси в поверхневому шарі оброблюваного матеріалу: нагрівання до температур, що не перевищують температури плавлення, але достатніх для структурно-фазових перетворень; нагрівання до температур, що перевищують температуру плавлення, але нижче температури випаровування; інтенсивне випаровування поверхні.

Ефекти, які виникають у поверхневому шарі оброблюваного матеріалу при протіканні цих трьох основних процесів, з'явилися основою для розробки ряду методів лазерної обробки матеріалів, спрямованих на підвищення експлуатаційних характеристик деталей машин і металорізальних інструментів.

Усі ці методи залежно від виду використовуваного лазерного випромінювання, а також від механізму взаємодії випромінювання з матеріалом, можна підрозділити на групи.

До першої групи слід віднести методи лазерної обробки, які не викликають оплавлення або якої-небудь іншої зміни вихідної шорсткості поверхні і зв'язані тільки з нагріванням поверхневого шару оброблюваного матеріалу і наступним його самоохолодженням. Керуючі процесами нагрівання і охолодження, можна одержати різні ефекти в поверхневому шарі, зокрема, термічне зміцнення, відпал, і в такий спосіб реалізувати відповідні методи обробки.

До другої групи доцільно віднести методи, обов'язковою умовою реалізації яких є наявність ефекту оплавлення поверхні. Серед цих методів слід виділити термічне зміцнення, лазерну аморфизацію, поверхневе мікролегування і наплавлення.

Лазерне наплавлення використовують в основному при відновленні зношених деталей. Найпоширенішим матеріалом для лазерного наплавлення служать самофлюсувальні порошки, які після оплавлення дають високу твердість шару (60...63 HRC), при міцності зчеплення з основним металом 200...300 МПа. У наплавленому шарі відсутні раковини і пори, а зона термічного впливу не перевищує 0,3...1.0 мм. Основні характеристики наплавленого шару представлено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Характеристики шару, отриманого лазерним наплавленням

Товщина слою за один прохід наплавлення, не більше	1-1,5 мм
Товщина дефектного шару, не більше	0,1 мм
Втрати нагрітого матеріалу, не більше	1%
Глибина зони термічного впливу, не більше	1мм
Міцність зчеплення, не більше	350 МПа

Досвід експлуатації лазерного наплавочного устаткування показує, що відновлення лазерним наплавленням порівняно економічно ефективніше ряду інших прогресивних методів відновлення (рис. 1.2).

Лазерне наплавлення в основному роблять із використанням лазерних генераторів безперервної дії, які забезпечують швидкість наплавлення порядку 50 мм/с [6]. Підвищення швидкості значно збільшує дефектність шару. При наплавленні утворюється щільний шар, що має високу твердість. Однак щільний шар може негативно вплинути на зносостійкість в умовах гідродинамічного тертя.

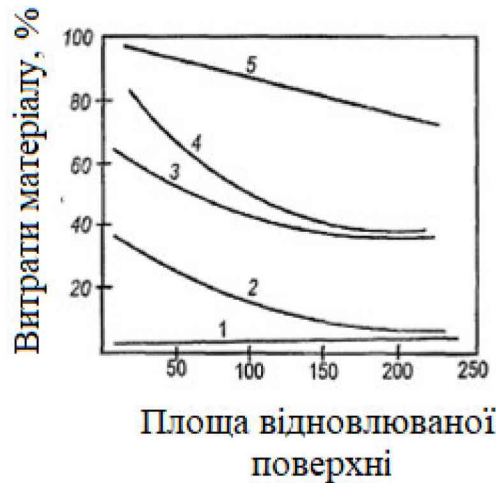


Рисунок 1.2 - Порівняльна економічна ефективність різних методів наплавлення і напилювання порошкових матеріалів:

1 - лазерне наплавлення; 2 - газополуменеве напилювання; 3 - плазмове напилювання; 4 - газопорошкове наплавлення; 5 -електродугова металізація.

Застосування лазерного наплавлення і у цілому лазерної технології поки не одержало широкого поширення в ремонтній практиці, тому що лазерна техніка вимагає великих фінансових витрат і джерел енергії значної потужності.

Таким чином, з аналізу літератури випливає, що в цей час украї обмежена кількість способів відновлення деталей з малими зносами (до 1,0 мм). Існуючі способи відновлення не в змозі повністю задовольнити вимоги сучасного ремонтного виробництва - забезпечувати високу продуктивність і низьку собівартість відновлення. Це визначає необхідність пошуку і розробки більш сучасних способів відновлення.

1.4 Високошвидкісна лазерна обробка ультрадисперсних порошкових матеріалів як можливість одержання пористих покриттів

Як вказувалося вище, на сьогоднішній день лазерне випромінювання в процесі нарощування покриттів використовується в основному при лазерному наплавленні. Особливістю лазерного наплавлення є те, що на попередньо підготовлену оброблювану поверхню одночасно з лазерним впливом

подається наплавочний матеріал. Подачу матеріалу на оброблювану поверхню при лазерному наплавленні можна здійснити газополуменевим наплавленням, хімічним або гальванічним осадженням, нанесенням паст, насипкою порошків, дифузією елементів з газового або рідкого середовища, механічними способами (накаткою, напресуванням тощо), електроіскровим легуванням, нанесенням фольги, дротів, стрічок, тощо.

Основними труднощами при лазерному наплавленні є поява тріщин, що виникають у результаті дії розтягувальних напруг або деформацій, накопичених у металі при охолодженні. Ініціатором руйнувань являється концентратор у вигляді оксидних плівок, великих карбідів або боридів, пор, частиць порошку які не розплавився, кристалізаційних тріщин. Ускладнює ситуацію і те, що ряд матеріалів (наприклад, порошки системи Ni-Cr-B-Si) у межах розкиду складу хімічних елементів для однієї марки порошку мають різну морфологію виділення фаз, інтервал кристалізації і схильність до утворення тріщин при лазерному наплавленні. Для зниження ймовірності появи тріщин слід зменшувати внутрішні деформації за рахунок добору матеріалів наплавлення і підкладки із близькими коефіцієнтами теплового розширення, зниження кількості порошку який подається, зменшення швидкості наплавлення, використання попереднього підігріву підкладки.

При відновленні третьових поверхонь необхідно домагатися одержання високих антифрикційних властивостей поверхонь, що мають високу контактну твердість. Для збільшення антифрикційних властивостей поверхні необхідний стійкий шар вторинних структур, що утворюються з адсорбуємих молекул змащення і газів. Для утворення стійкого граничного шару необхідні масляні кишені достатньої ємності. Таким чином, процес наплавлення порошкових матеріалів необхідно замінити процесом спікання, що буде забезпечувати формування пористості, що гарантує їхнє просочення мастилом, з такими розмірами і формою пор, які б гарантували їх незавальцювання в процесі тертя [7]. Пористість (розмір пор і відстань між порами), забезпечуючи високу антифрикційність і задиростійкість змазаних

тертьових деталей, не повинна суттєво зменшувати втомну міцність наплавлених покриттів.

Необхідно врахувати, що рекристалізація порошкових матеріалів при спіканні характеризується наявністю великої вільної поверхні в частках, що спікаються. Зі збільшенням дисперсності порошкового матеріалу вільна енергія часток значно зростає, ніж при використанні крупного порошку. Це в результаті приводить до одержання більш компактного і щільного зразка з мінімальними розмірами пор з наявністю великої кількості дрібних зерен. Тому в цей час величезна увага приділяється створенню матеріалів і тонких покриттів з використанням дрібнодисперсних порошоків, аж до нанорозмірних. Використання дрібнодисперсних і нанопорошків змінює процес руйнування покриттів. Відомо, що у звичайних покриттях при механічному навантаженні дислокації, що рухаються, накопичуються у границь зерен і при певному їхньому скупченні утворюються тріщини, що приводить до руйнування покриття. У нанометричних покриттях має місце інший механізм деформації: головні процеси відбуваються в приграничних областях. Оскільки кількість атомів у зернах відносно менше, ніж на границях, зміцнення границь зерен перешкоджає поширенню тріщин. При цих умовах дислокації в зернах не існують, оскільки границі зерен перешкоджають їхньому формуванню, з'являється новий механізм деформації, названий ковзанням по границях зерен.

Особливість нанотехнології полягає в тому, що розглянуті процеси і чинені дії відбуваються в нанометровому діапазоні просторових розмірів. "Сировиною" є окремі атоми, молекули, молекулярні системи, а не звичні в традиційній технології мікронні або макроскопічні обсяги матеріалу, що містять, принаймні, мільярди атомів і молекул. На відміну від традиційної технології для нанотехнології характерний "індивідуальний" підхід, при якому зовнішнє керування досягає окремих атомів і молекул, що дозволяє створювати з них "бездефектні" матеріали з принципово новими фізико-хімічними властивостями.

Покриття, синтезовані на основі наночасток, уже застосовуються в промисловості, наприклад:

- Композиційні електрохімічні покриття на основі хрому з використанням наноалмазів, що характеризуються підвищеною зносостійкістю і корозійною стійкістю, які мають високу мікротвердість (до 14 ГПа) і низьким коефіцієнтом тертя, дозволяють підвищити стійкість різального інструменту в 1,5-2 рази [7].

Наноструктурні карбідні, нітридні і боридні плівки (TiC, TiN, NiB₂, Ti(C, N), (Ti, Al)N тощо) вже давно використовуються в багатьох країнах у промисловому масштабі в якості зносостійких покриттів на металообробному інструменті, що підвищує робочий ресурс останнього в 8-10 разів. Роль одношарового покриття з карбонітриду титану і багатошарового нітридного покриття демонструють наступні дані (оброблюваний матеріал – легована сталь твердістю 38 HRC; швидкість різання 38 м/хв; подача 0,2 мм за 1 оберт): робочий ресурс різця без покриття – 7 хв; різця з покриттям Ti(C, N), – 53 хв; різця з покриттям (Ti, Al, Y)N/VN, – 141 хв.

Багатошарові нітридні покриття, технологія одержання яких вимагає використання спеціалізованого устаткування (багатокатодних установок магнетронного напилювання), економічно доцільні, особливо для механічної обробки твердих матеріалів (HRC 55-60). Технологія цих покриттів була реалізована завдяки великому загальноєвропейському проекту. У країнах Західної Європи частка багатошарових покриттів у загальній кількості покриттів на інструменти становить близько 10 – 15 %. Багатошарові покриття CrN/NbN крім високої зносостійкості мають також корозійну стійкість, що робить їх перспективними для використання в умовах різних агресивних середовищ (наприклад, у текстильній промисловості при виробництві поліефірних волокон). Одношарові плівки TiN і Ti(C, N) товщиною 1,5 – 3,5 мкм завдяки високій корозійній і ерозійній стійкості, а також високому опору термічній втоми, використовуються для покриття форм в ливарному

виробництві алюмінієвих сплавів.

З розвитком нанотехнологій розвиваються методи одержання наноструктурних матеріалів з відтвореними характеристиками, а також контрольованою мікроструктурою. Одержання нових матеріалів з нанометрових часток можливо лише при використанні в якості «будівельного матеріалу» нанорозмірних порошоків, використовуючи різні методи синтезування. Із усього різноманіття методів, спікання є найбільш ефективним методом формування виробів з ультрадисперсного порошкового матеріалу. При розробці лазерного спікання порошкових матеріалів необхідно визначити механізм цього процесу. При нагріванні вільно насипаного порошку відбувається складний комплекс різноманітних фізико-хімічних явищ, що протікають одночасно або послідовно. Під час спікання відбувається зміна розмірів, структури і властивостей вихідних порошкових тіл, протікають процеси поверхневої, граничної і об'ємної гетеродифузії, різноманітні дислокаційні явища, здійснюється перенос речовини через газову фазу, хімічні реакції, релаксація мікро- і макронапруг, рекристалізація часток/

Процес формування покриття лазерною обробкою відбувається за допомогою спікання в присутності рідкої фази. Можна виділити шість стадій спікання [6]:

- 1) розвиток і виникнення зв'язків між частками;
- 2) утворення і ріст "шийок" міжчасткових контактів;
- 3) закриття наскрізної пористості в порошковому тілі;
- 4) сфероїдизація пор;
- 5) ущільнення порошкового тіла за рахунок усадки ізольованих пор;
- 6) укрупнення пор.

Розвиток зв'язків між частками починається відразу з нагріванням порошкового тіла, тобто на самому ранньому етапі спікання. Це дифузійний процес, що приводить до утворення і розвитку міжчасткових границь і, отже, збільшенню міцності порошкового тіла. Результат цієї стадії - виникнення "шийки". Ріст "шийок" контактів - природне продовження процесу

міжчасткового зв'язування; його необхідна умова - перенос речовини в область міжчасткового контакту, який може бути здійснений за допомогою різних транспортних механізмів. Порошкове тіло стає більш міцним і електропровідним. У якийсь момент міжзернові (міжчасткові) границі починають переміщатися, і їхнє початкове розташування порушується. Спікаємо порошок за структурою наближається до стану двох безладно перемежованих фаз речовини і порожнечі. Звичайно вважають, що ріст "шийок" відбувається досить швидко і характеризує початковий етап спікання. Однак ця стадія може тривати і під час більш пізніх стадій спікання, оскільки лазерна рекристалізація характеризується малим часом. Закриття наскрізної пористості є результатом росту "шийок" і призводить до появи ізольованих груп пор або навіть окремих пор. При цьому загальний (сумарний) обсяг пор у порошковому тілі зменшується і відбувається його ущільнення (усадка). Сфероїдизація пор стадія, що як і попередня, пов'язана з ростом "шийок": речовина з деяких ділянок поверхні пор переміщається в область міжчасткового контакту, а самі пори округляються, здобуваючи сферичність. Усадка ізольованих пор вимагає високих температур і достатньо тривалого нагрівання, тому процес усадки при лазерній рекристалізації практично відсутній. У результаті це приводить до укрупнення пор за рахунок зменшення розмірів і зникнення дрібних, ізольованих пор. Загальна пористість при цьому зберігається незмінною, а число пор зменшується при збільшенні їх середнього розміру. Для зниження розмірів пор необхідно забезпечувати більш ранній ріст "шийок" і збільшити їхню кількість. Оскільки дрібнодисперсні порошкові частки мають більшу вільну поверхневу енергію, вони вимагають більш низьку температуру для розвитку і росту "шийок". Таким чином, використання дрібнодисперсних порошкових матеріалів забезпечить зниження середнього розміру пор.

Крупні зерна утворюються за рахунок переносу речовини при загальній границі із зерна малого розміру на зерно більшого розміру. Перенос речовини відбувається шляхом переміщення атомів через границю зерен вбік зерна з

меншою величиною вільної енергії і впоперек контактних ділянок.

Рушійна сила рекристалізації визначається прагненням системи перейти в більш рівноважний стан з меншою сумарною поверхнею границь. Зміна вільної енергії залежить від кривизни границі між зернами і визначається рівнянням:

$$\Delta F = \sigma V \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \quad (1.1)$$

де σ - поверхнева енергія;

V - молярний об'єм;

r_1 і r_2 - радіуси границі між зернами.

Різниця вільної енергії кристалів по обидві сторони границі між зернами, визначає напрямок руху границі до центру її кривизни. При цьому встановлена закономірність: кристали, що мають більше шести граней, будуть рости до деякого граничного розміру, якщо ж цих граней менше шести, то кристали будуть зменшуватися до повного зникнення [7].

З ростом кристалів збільшуються міжчасткові контакти границь зерен, що дає можливість пересуватися з однієї частки в іншу. Цей процес називають міжчастково збиральною рекристалізацією. Збиральна рекристалізація триває не до кінця, а затримується на деякому середньому розмірі у зв'язку з гальмуючим впливом пор і окисних плівок на поверхні порошкових часток. Таким чином, зі збільшенням дисперсності порошкового матеріалу контури окремих часток зникають раніше, оскільки контактна поверхня часток більше, ніж при використанні крупного порошку, що в результаті призводить до одержання більш компактного і щільного зразка з мінімальними розмірами пор з наявністю великої кількості дрібних зерен.

1.5 Ціль і завдання дослідження

Аналіз стану питання дозволив визначити мету дослідження - розробку технології відновлення деталей лазерною обробкою порошкових матеріалів на основі заліза.

Виходячи з вищевказаного, поставлені наступні завдання дослідження:

1. Обґрунтувати вибір порошкових матеріалів і зв'язувальної речовини для відновлення поверхні деталей лазерним спіканням.
2. Оптимізувати основні характеристики лазерної обробки і складу порошкової суспензії для досягнення заданих пористості і мікротвердості шарів.
3. Дослідити структурно-фазовий стан покриттів, що формується в процесі лазерної обробки ультрадисперсних порошоків на основі заліза.
4. Дослідити залежність мікротвердості, міцності металопокриттів від складу порошкових композицій і пористості.
5. Розробити технологію одержання покриттів лазерною обробкою ультрадисперсних порошкових матеріалів.
6. Розробити технологічний процес відновлення золотникової пари гідророзподільника Р-80.

2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Метою експериментальних досліджень є перевірка встановлених теоретичних передумов лазерного спікання ультрадисперсних порошкових матеріалів з одночасним визначенням раціональних параметрів спікання.

2.1 Завдання експериментальних досліджень

Відповідно до поставленої мети в лабораторних умовах передбачали розв'язання наступних завдань:

- розробити технологію одержання покриття;
- зробити вибір і обґрунтування використовуваних для одержання покриттів матеріалів;
- визначити мікротвердість у зоні високошвидкісної лазерної перекристалізації;
- розробити методику визначення пористості отриманого шару;
- розробити методику визначення міцності отриманого покриття.

2.2 Розробка технології одержання покриттів

Інтенсивне використання лазерної техніки пояснюється безсумнівними перевагами лазерного променя, до яких слід віднести високу концентрацію енергії. Це дозволяє підвищити продуктивність технологічних процесів, одержати матеріали з новою якістю, одержати за технологією лазерного синтезу об'ємних виробів (ЛСОВ) нові деталі і покриття. Одним із широко використовуваних технологій ЛСОВ є метод селективного лазерного спікання (СЛС) порошкових композицій. За цією технологією виріб виходить з послідовним пошаровим нанесенням порошкової композиції на підкладку (деталь, модель). Цей метод найбільше повно відповідає вимогам процесу одержання покриттів на циліндричних деталях на основі методу СЛС. Однак вільне насипання металополімерних композицій, використовуваних у методах СЛС, не може бути використана для циліндричних деталей, більше того, працездатність металополімерних композицій у деталях в більшості випадків

нераціонально, із-за малої міцності полімерних складових механізмів. Це визначає необхідність розробки самостійної технології створення покриттів з металопорошкових композицій на циліндричні поверхні методами СЛС. Нижче приводяться етапи розроблювальної технології.

2.2.1 Вибір матеріалів і їх обґрунтування

У цей час при одержанні наплавленням на поверхні зношених деталей покриттів з використанням лазерного випромінювання застосовують порошкові композиції з різними зміцнюючими фазами, наприклад, карбідом хрому, вольфрамом, бором тощо (табл.2.1) [8].

Таблиця 2.1 - Хімічний склад (%) і твердість сплавів, які найбільш часто використовуються при лазерному наплавленні

	C	Cr	Si	B	Fe	Ni	W	Mo	Co	HRC
ПГ-СР2	0,2-0,5	12-15	2,0-	1,5-	<5	Ост.4	-	-	-	35
ПГ-СР3	0,4-0,7	13-	3,0	2,1	<5					45
ПГ-СР4	0,6-,01	16,5	2,5-	2,0-	<5					55
СНГН-50	0,5-0,7	15-18	3,5	2,8	<5					47
ПГ-ХН80СР2	0,9-0,1 0,3-0,6	13-15	3,0-	2,8-	<5					58
		16-19	4,5	3,8	<5					42
		12-15	3,0-	2,7-						
			3,7	3,2						
			4,0-	4,0-						
			5,0	4,7						
			2,0-	1,5-						
		3,0	2,5							
110Х28К63В4	1,1	28					4			42
250Х32К44В1	2,5	32	-	-	-	3,0	0	5,0		58
25Х27К61М5Н3	0,25	27					17			10

Висока схильність їх до розкладання і розчинення при впливі високих температур створює труднощі при формуванні структури з більшою кількістю

зміцнюючої фази.

Одержувати з них пористі матеріали важко через їхню тугоплавкість і твердість. При цьому ці порошкові композиції важко піддаються здрібнюванню до ультрадисперсних порошкових часток, що ускладнює, а іноді і виключає використання переваг вихідного матеріалу у вигляді порошку. Для одержання пористих покриттів шляхом спікання в цей час незаперечним є використання металевих порошоків. При нарощуванні покриттів на сталевих деталях найбільшу міцність зчеплення можна одержати при використанні порошоків на основі заліза. Тому в наших дослідженнях використовувався залізний порошок, що має при високій їхній чистоті гарним пресуванням, спіканням і теплопровідністю. Остання властивість сприяє нагріванню нижчележачих шарів порошку при поверхневому нагріванні маси порошку. Має невисоку температуру плавлення, забезпечує одержання при перекристалізації твердих розчинів впровадження вуглецю, а також хімічні сполуки-карбіди, що мають високі експлуатаційні властивості. Для одержання покриття використовували порошок карбонільного заліза марки Р-100. Особливість будови частки карбонільного заліза забезпечує одержання часток осколкової і лускатої форми, що є причиною виникнення «містків» - конгломератів, які ускладнюють одержання рівномірної щільності. У процесі інтенсивного розмелу частки втрачають осколкову і лускату форму, чому сприяє також зміст графіту. Частки здобувають кулясту форму і при ущільненні для появи повітряних «кишень» залишається мало причин. У процесі розмелу в кульовому млині частки порошку вуглецю обволікають частки порошку заліза і надалі відіграють роль змащення між частками порошку в процесі ущільнення. Графітове покриття залізних часток знижує коефіцієнт тертя між частками і так само зменшує ймовірність виникнення «містків».

Відомо, що при впливі лазерного випромінювання на поверхню матеріалу, що обробляється відбувається лише часткове поглинання випромінювання, яке характеризується ефективним коефіцієнтом поглинання

$A_{\text{эф}}$, [33,45,46]

$$A_{\text{эф}} = 1 - R_{\text{від}}, \quad (2.1)$$

де $R_{\text{від}}$ – коефіцієнт відбиття.

Ефективний коефіцієнт поглинання характеризується не тільки втратами лазерного випромінювання внаслідок відбиття від поверхні, але і втрати через екранування випромінювання плазмовою хмарою, що виникає внаслідок іонізації атмосфери і парів металу.

Вирішальним фактором, що визначають ефективність поглинання лазерного випромінювання металами, є стан поверхні. При збільшенні шорсткості або зміни хімічного складу поверхні коефіцієнт поглинання значно зростає. Однак на практиці не завжди виправдана технологічна операція збільшення шорсткості поверхні з метою підвищення ефективності лазерної обробки. При поверхневій обробці більш доцільне нанесення покриттів для збільшення ефективності поглинання лазерного випромінювання, особливо при обробці гладких шліфованих поверхонь [8].

У цей час застосовуються наступні типи покриттів:

1. Хімічні покриття. З технологічних процесів для нанесення покриттів можна відзначити воронування, що полягає в одержанні на поверхні сталей оксидної плівки Fe_3O_4 чорного кольору. Залізовуглецеві сплави часто сульфідують для одержання на поверхні плівки Fe_2S_3 . Ці плівки підвищують поглинання енергії лазерного випромінювання на 20...80%. Недоліками хімічних покриттів є токсичність розчинів і вплив випарів на апаратуру [8].

2. Водорозчинні фарби, розроблені спеціально для лазерної термообробки [6]. Ці фарби містять компоненти, що мають високу поглинальну здатність: силікат натрію, оксид цинку, метилцелюлозу, тощо. Наносять фарбу пневморозпиленням, після чого піддають сушінню протягом 40...50 хв. при кімнатній температурі. Однак цей метод характерний тільки для термообробки, при нарощуванні покриттів нанесення фарби технологічно важко здійснити, оскільки необхідно наносити фарбу після кожного наплавленого шару.

3. Напилювання на поверхню порошків металів і оксидів. Звичайно напилюють у вакуумі, що вимагає складну технологію нанесення, оскільки необхідно забезпечувати вакуум. Напилені покриття важко видаляються з поверхні.

Вищевказані методи використовуються в основному при поверхневій термічній обробці. При пошаровому лазерному спіканні необхідно наносити спеціальний шар на кожний спікливий шар, що багаторазово збільшує час технологічного процесу нарощування покриття.

При лазерному спіканні ультрадисперсних порошкових матеріалів для збільшення коефіцієнта поглинання можливе використання в складі композиції графіту або сажі. Використання сажі з погляду якісного одержання покриття небажане, оскільки сажа під впливом лазерного випромінювання вигорає, утворюючи тим самим великі пори і раковини. Нами з метою збільшення коефіцієнта поглинання рекомендується використовувати графіт. У процесі розмелу частки металевого заліза по всій поверхні покриваються графітом, що збільшує коефіцієнт поглинання лазерної енергії і задовольняє іншим вимогам, пропонованим до покриттів, а саме, є тугоплавким і, крім того, має гарну теплопровідність. Разом з тим, наявність графіту в покритті буде сприяти підвищенню антифрикційних властивостей покриття.

Використання лазерних технологій у будь-яких галузях визначає виникнення у виробках значних внутрішніх напружень через більші швидкості нагрівання і охолодження. При роботі з порошковими матеріалами внутрішні напруження викликають розтріскування в матеріалах і навіть відшаровування одержуваних виробів від оброблюваних поверхонь. Боротьба із внутрішніми напруженнями зводиться до зм'якшення режимів лазерного опромінення з одночасною втратою продуктивності і ефективності. З метою зниження внутрішніх напружень у покритті і забезпечення кращого зчеплення нами рекомендується введення до складу здрібненого порошку металевої міді.

Мідь має більш низьку температуру плавлення, ніж залізо, і тому при температурах спікання заліза мідь буде в розплавленому, рідкому стані, в силу

чого процес ущільнення композиції в цілому буде полегшуватися. Рідка фаза, що з'явилася, буде заповнювати зазори між твердими частками заліза і буде фактично змащенням, що полегшує взаємне переміщення часток, що і призводить до ущільнення шару. Кінетика процесів, що відбуваються при ущільненні шару при наявності рідкої фази, суттєво залежить від ступеня змочування твердої фази рідиною. Вплив об'ємної частки рідкої фази міді на процес змочування і ущільнення композиції на основі заліза розглянуті в порошковій металургії.

Роль міді в залізграфітних композиціях вивчалася в ряді робіт [9, 10, 11]. У цих роботах вказується, що наявність міді до металографічних матеріалів на залізній основі сприятливо впливає як на технологію виготовлення, так і на властивості готових виробів. Насамперед, треба відмітити, що наявність міді стабілізує розміри виробів і компенсує протилежну дію усадки, що прагне їх скоротити. Легування міддю забезпечує підвищення міцності і твердості виробів від 30...60% за рахунок утворення твердих розчинів і зв'язування зерен спіканням залізної основи.

Сплави системи «залізо-мідь» належать до сплавів з обмеженою розчинністю (рис. 2.1). Розчинність міді в залізі змінюється в межах 3,5...0,35% при зниженні температури від 833° С до кімнатної.

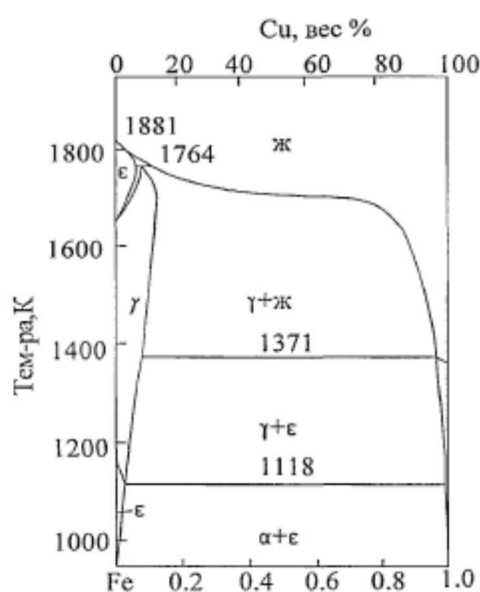


Рисунок 2.1 - Діаграма рівноважного стану системи залізо-мідь

З літератури відомо, що мідисту сталь можна зміцнювати дисперсійним твердінням. Для протікання процесу дисперсійного твердіння необхідно попередньо одержати пересичений твердий розчин. Шляхом одержання пересичених міддю α - твердих розчинів і наступного їхнього розпаду може бути досягнуте зміцнення не тільки мідистої сталі, але і металокерамічних пористих матеріалів залізо-мідь-графіт. Відзначається, що в межах змісту міді до 5% виявити її в структурі сплаву досить важко. Додавання міді понад 5% викликає виділення мідистої складової каркасно по границях зерен, що є причиною зниження міцнісних властивостей.

Грунтуючись на діаграмі рівноважного стану системи «залізо-мідь», для проведення експериментів нами використані порошкові композиції зі змістом міді в 1%, 4%, 10%.

Формування тривимірних виробів і покриттів з металевих порошоків або композицій на їхній основі здійснюють відомими методами порошкової металургії або, що знаходять все більший розвиток методами селективного лазерного спікання (СЛС).

У СЛС процесах у якості вихідного матеріалу в основному використовуються металополімерні композиції [10]. В основі цих технологій закладене почергове виконання операцій пошарової подачі матеріалів на підкладку або деталь і спікання насипаної маси лазерним променем, після чого операція повторюється до одержання необхідної товщини покриття. У більшості випадків товщина одержаного моношару становить частки міліметра, оскільки товщина шару визначає точність і чим менше товщина, тим більше точність кожного шару, отже, і товщина покриття.

Нами пропонується і прийнята до використання модифікація методу СЛС. Оскільки при засипанні композиції з металевих порошоків на циліндричні деталі забезпечити рівномірність розподілу порошку по поверхні неможливо, нами пропонується введення до складу вихідної композиції додаткової складової. Ця складова повинна виконувати роль клею і забезпечувати злипання порошкового складу на поверхні деталі. Таким чином, нами

пропонується перехід від використання твердих вихідних компонентів до рідких суспензій, які широко використовуються в шлікерному литті. Використання методів шлікерного лиття дозволяє робити попереднє до спікання ущільнення вихідної композиції без додавання зовнішнього тиску. Відповідно до вищевказаної методики для виготовлення шлікеру до складу вихідної композиції вводиться зв'язувальна речовина – рідина. Зв'язувальна речовина не повинна перешкоджати формуванню створюваного шару і погіршувати його властивості. Вибір зв'язуючих є складним завданням, що підтверджується даними, наведеними в табл. 2.2. Як видно з таблиці, у якості зв'язувальної речовини використовується велика кількість матеріалів. Жоден із представлених матеріалів не забезпечує одержання якісного шару. Використання як зв'язуючої речовини швидко випаровуючих матеріалів на основі спиртів і ефірів небажане, оскільки це призводить до утворення окислів, які надалі можуть з'явитися причиною тріщеноутворення в шарі. Крім того, при підборі зв'язувальної речовини нами було поставлено завдання зміцнення карбонільного заліза до забезпечення властивостей конструкційних сталей. З відомих способів зміцнення найбільш привабливим для лазерного спікання представляє науглецювання. Виконання цього завдання може бути ефективним при дисоціації зв'язувальної речовини до атомарного вуглецю.

Найбільш підходящим матеріалом представляється чотирьоххлористий вуглець. Під впливом лазерного випромінювання чотирьоххлористий вуглець дисоціює до одержання атомарного вуглецю. Атомарний вуглець надалі добре взаємодіє із залізом, утворюючи тверді розчини впровадження.

Кількість зв'язувальної речовини - чотирьоххлористого вуглецю – визначалося, що його склад від 30-50 % не виявляє значного впливу на товщину нанесеного шару на шліфовану поверхню. При нанесенні на шліфовану поверхню порошкової суспензії зі складом чотирьоххлористого вуглецю менш 30 % формується досить рівномірний шар, однак при нанесенні наступних шарів на отриманий раніше призводить до утворення грудкуватого шару з-за підвищеної шорсткості першого шару. Підвищення змісту

чотирьоххлористого вуглецю вище 60 % призводить до моментального осідання порошкової композиції, що обумовлює одержання дуже тонкого нанесеного порошкового шару, який під впливом лазерного випромінювання повністю випаровується. Тому в наступних експериментах процентний вміст чотирьоххлористого вуглецю обмежували 50% по масі.

Таблиця 2.2 - Вплив зв'язуючих на характеристики наплавлених шарів хромборнікелевого порошку ПГ-ХН80СР2 на сталі 45, виконаних за допомогою безперервного випромінювання СО₂-лазера потужністю до 5 кВт

Тип сполучного	Коефіцієнт переміш- ування	Висота наплав- лення, мм	Ширина наплав- лення, мм	Мікротверді- сть (при навантаженні і 50 т), МПа	Властиво- сті
Клей синтетичний, епоксидна смола ЕД-5, самотвердна пластмаса “протакрил”, розчин бури в ацетоні, спиртовий розчин каніфолі	0,6-0,8	0,14-0,34	0,14-0,38	3800-5000	Викид сажі
Ізопропиловий спирт	0,1	0,9	2,23	3660-7940	Нерівно- мірна ширина шву

1	2	3	4	5	6
Рідке скло, силікатний клей	–	1,0	2,1	5830-6770	Крапле- видний шов
Клейстер	0,1	0,6-1,4	1,1-2,5	6440- 10100	Напли- ви на шві
Клей «суперцемент»	0,1	1,1-1,28	2,0-2,8	5400-9400	Рівний шов
Цапонлак	0,05-0,1	1,27-1,56	2,4-3,3	5400- 10000	-
Клейсер-f-борна кислота	0,1	1,0-1,26	1,72-2,97	4660-7940	Порува- тість
Клейстер-f-флюс Ф34А	0,1	1,48-1,58	2,14-2,8	6770- 10100	

У якості добавок, що перешкоджають скупченню часток - утворення містків у шлікерної технології використовуються дефлокулянти (кислоти, луги, солі, хлорне залізо). При розкладанні чотирьоххлористого вуглецю сіль, яка утворилася у хлорне залізо буде відігравати роль дефлокулянта і у такий спосіб відпаде необхідність введення в композицію вихідних елементів додаткових речовин - дефлокулянтів.

Навуглецювання формованого покриття під впливом атомарного вуглецю є позитивним моментом, однак зміст вуглецю в спікаємому шарі контролювати до одержання конструкційної сталі неможливо. З метою забезпечення складу вуглецю 0,5% і вище нами в порошок суміш вводився графіт. Склад графіту варіювали в межах від 0,5 до 1%. Оскільки графіт тугоплавкий матеріал, він впливає на процес формування покриття. Зі

збільшенням складу графіту понад 1% відбувається зниження міцності зчеплення і, як наслідок, його відшарування. Оптимальний склад графіту прийняли 0,5 %.

Окиснення при спіканні порошкових матеріалів у край небажане, тому що процес ущільнення і спікання порошоків гальмується і навіть зупиняється. Для захисту порошкового матеріалу від окиснення використовують захисні гази: водень, генераторний газ, дисоційований аміак, природний газ, інертні гази тощо. Найбільшу перевагу віддають інертному газу - аргону, як більш важкому і у зв'язку із цим не інтенсивно летючому із зони спікання.

У якості вихідного матеріалу деталі - зразка прийняли сталь 45. Вибір даної марки сталі обумовлений тим, що найбільш навантажені деталі трансмісій, двигунів автомобілів, тракторів і іншої промислової і сільськогосподарської техніки в більшості виконуються з даної марки сталі або близьких до нього по хімічному складу.

2.2.2 Вибір режимів обробки

Якість формованого покриття визначається не тільки правильним вибором зв'язувальної речовини і порошкової композиції, але і параметрами імпульсно-періодичного лазерного випромінювання: енергії імпульсу P , частоти проходження імпульсів ν , швидкості сканування променю v .

Можна говорити про те, що оптимальне зчеплення одержаного шару з підкладкою можливе при оплавленні основи матеріалу на глибину від 0,15 до 0,25 мм [11]. Підтримка даного значення проплавлення проводиться за допомогою питомої погонної енергії q_0 . При $q_0 < 180$ Дж/мм² відбувається лише часткове проплавлення підкладки. Причому в оплавленому об'ємі металу спостерігаються округлі газові пори, пов'язані з дегазацією нижчележачих газонасичених шарів нанесеного шару. Оптимальним слід вважати $q_0 = 180 - 330$ Дж/мм², що забезпечує повне оплавлення нанесеного шару, а також і металу основи до глибини 0,15мм. Подальше збільшення погонної енергії призводить до росту глибини проплавлення основного

металу, що призводить до зниження мікротвердості в зоні проплавлення, а також погіршенню експлуатаційних властивостей спеченого шару.

Особливий вплив на формування шару надає частота проходження імпульсів. Порційне вкладення енергії призводить до істотної відмінності протікання процесу затвердіння в порівнянні з безперервним. Основними відмінними параметрами імпульсно-періодичного випромінювання є тривалість імпульсу t_i і t_n паузи, тривалість циклу $t_{\text{ц}} = t_i + t_n$. Вони визначають відстань між розплавленими об'ємами металу. Наплавлений валик формується з крапок які один одного перекривають. Кристалізація відбувається періодично, тому що швидкість охолодження рідкого металу значна (порядку 10^8 K/c), а час паузи досить для затвердіння ($t_n = 0,01$ с). Чим більше частота імпульсів, тим більше перекриття крапок при постійній швидкості. При малій частоті проходження імпульсів на поверхні спостерігаються окремо розташовані краплі переплавленого присадкового матеріалу. Їхня форма залежить від комбінації витрати порошку, обумовленою висотою насипаного шару, і щільності потужності в плямі нагрівання. Чим більше висота шару насипаного порошку щодо діаметру плями, тим менше радіус кривизни краплі, яка здобуває сферичну форму. Зменшення висоти насипаного шару призводить до збільшення радіусу кривизни. Крапля стає плоскою. Збільшення енергії в імпульсі або щільності потужності призводить до зростання температури розплавленого металу, що викликає зниження поверхневого натягу, а також активацію підкладки. Це сприяє змочуванню поверхні підкладки і збільшенню радіуса кривизни краплі. Збільшення частоти проходження імпульсів призводить до перекриття наплавлених крапок, і валик стає безперервним. При великій витраті порошку або великій висоті нанесеного шару спостерігається несплавлення наплавленого металу з підкладкою. Відбувається відділення валика від основи [36]. Для досягнення однакових властивостей поверхні формованого шару, оплавлення двох сусідніх зон слід здійснювати з перекриттям, що приводить до дворазової перекристалізації в зоні перекриття. Розподіл мікротвердості в поверхневих

ділянках показало, що при повторній перекристалізації зони покриття помітного зниження мікротвердості не відбувалося. Це пов'язане з тим, що при повторній перекристалізації відбуваються незначні фазові зміни. В об'ємах спеченого металу, підданих повторній перекристалізації, мікроструктура і хімічний склад практично не змінюються. Приймаємо коефіцієнт покриття 0,3мм.

2.2.3 Підготовка порошкової суспензії

Перед одержанням покриття необхідно підготувати порошкову композицію. Склад порошкових сумішей для нанесення покриттів формували на основі карбонільного заліза марки Р-100 з додаванням порошоків міді і кристалічного графіту. Технологія виготовлення карбонільного заліза забезпечує одержання хімічно чистого заліза. З метою дегазації порошок карбонільного заліза піддавали відпалу в атмосфері водню, що відновлюється при температурі 350°C протягом однієї години з наступним охолодженням у печі. Для зручності аналізу досліджень порошкові суміші позначили в такий спосіб:

порошкова суміш №1 - 1%Cu+Fe+0,5.% графіту;

порошкова суміш №2 - 4%Cu+Fe+0,5% графіту;

порошкова суміш №3- 10%Cu+Fe+0,5% графіту;

порошкова суміш №4 - Fe+0,5% графіту.

Підготовлені порошки розмелювали на вібротолі до досягнення ними фракційного складу в 120...1200нм. Мідний порошок розмолу не піддавали. Хімічний і фракційний склад порошкових сумішей, що використовувалися в роботі, зазначено в таблиці 2.3. Після одержання, порошкову композицію змішували із чотирьоххлористим вуглецем у співвідношенні 50% порошкової композиції і 50% чотирьоххлористого вуглецю по масі.

Таблиця 2.3 - Хімічний і дисперсійний склад порошкових сумішей

№ суміші	Зміст елементів, вага. %			Фракційний склад по кількості часток
	Fe	C	Cu	
1	основа	0,5	1	1000...1200 нм-30% 300...800 нм-50% 120...250 нм-20%
2	- // -	0,5	4	- // -
3	- // -	0,5	10	- // -
4	- // -	0,5	-	- // -

Основною характеристикою одержаного шару є його пористість, яка впливає на міцність шару і його зносостійкість. Надмірне збільшення пористості призводить до зниження міцності самого шару і його зчеплення з основою деталі. Тому необхідно забезпечувати одержання оптимальних значень пористості (20-25%) [33]. Особливий вплив на пористість формованого шару виявляє початкове ущільнення нанесеного шару.

З метою одержання більш компактного і щільного нанесеного шару в порошковій суспензії використовували порошок частки різного фракційного складу, оскільки використання різного фракційного складу порошкових матеріалів призводить до більш інтенсивного ущільнення під власною вагою. Товщина покриттів, при яких забезпечується якісне покриття - без відшарування покриття і без видимих дефектів у вигляді тріщин - становила від 0,01 до 0,14 мм. Відомо, що структура з тонких шарів має високий рівень самоорганізації, за рахунок чого забезпечується стабільність їх як системи і, виходячи із цього, найбільш якісні шари формувалися при товщині шару в 0,05 мм.

2.2.4 Технологія одержання покриття

При створенні покриттів лазерним випромінюванням вимоги підготовки

поверхні повинні бути більш строгими, ніж при дуговому зварюванні і наплавленні, оскільки при електродугових способах нарощування особливості дуги забезпечують своєрідну самоочистку. Самоочистці сприяють зовнішні фактори, за рахунок використання спеціальних засобів. До таких засобів відносяться обмазки, флюси, добавки в електродний матеріал або захисні гази. При створенні покриттів лазерною обробкою використання спеціальних засобів, що забезпечують самоочистку, технологічно складно виконати. Тому поверхня деталі повинна бути очищена від механічних забруднень і окислів, ретельно знежирена і нанесення покриття на поверхню деталі повинне здійснюватися не раніше 5...8 хв. після знежирення. Для більш ефективної підготовки поверхні перед спіканням нами рекомендується проводити попереднє лазерне маркування поверхні.

Формування покриття відбувається безупинно по всій ширині відновлюваної поверхні скануванням імпульсного лазерного випромінювання. Оскільки лазерний промінь має малий діаметр - 0,01 мм, для більш ефективного прогріву порошкового матеріалу в 1 мм ширини сканування лазерний промінь виконує 20 безперервних проходів. Велика кількість проходів при лазерній обробці значно знижує частоту обертання відновлюваної деталі – середня частота обертання деталі становить 2 об/хв. Забезпечити таку частоту обертання деталі досить складно, тому для приводу деталі використовували кроковий електродвигун. Формування покриття забезпечувалося спіканням окремих площ сканування: довжину сканування вибрали рівній довжині відновлюваної поверхні; ширину сканування вибрали рівною 4 мм.

Процес одержання покриття проводився в наступній послідовності:

- відновлювану деталь вводили в робочу камеру через сальник, після чого робочу камеру заповнювали порошковою суспензією, залишаючи непокритою деталь шириною 8-10 мм;
- робочу камеру заповнювали аргоном;
- поворотом деталі на повний оберт наносили перший шар

порошкової суспензії по всій поверхні деталі;

- скануванням лазерного променя робили обробку першого шару порошкової суспензії на величину площі сканування. Ширину сканування променя погоджували з роботою крокового електродвигуна пристосування привода деталі таким чином, що після лазерного сканування робили поворот деталі на кут, погоджений із шириною сканування. При цьому враховували перекриття між сусідніми площами сканування.

2.3 Методика лабораторних досліджень

2.3.1 Методика визначенні мікротвердості шару

Визначення твердості й мікротвердості отриманих шарів проводилося за загальновідомою методикою із застосуванням приладу ПМТ-3 при навантаженні на алмазну пірамідку в 100 г. Для одержання більш точного результату вимірювання проводилися на відстані між відбитками в 2 діагоналі [12].

2.3.2 Методика визначення розмірів пор отриманого шару

Структура будь-якого покриття, отриманого з металевих порошків без суцільного оплавлення самих порошків, характеризується наявністю пор різного розміру. Однак непрозора будова матеріалу не дозволяє робити безпосереднє дослідження об'ємної структури пор. Тому характер і розміри пор одержували в площині мікрошліфа. При цьому приймали, що частка площ, займаних порами в площині шліфа, дорівнює частці пор в об'ємі отриманого шару [13].

Площа пор, займаної в площині шліфа, визначали на мікрофотографії шліфа за допомогою квадратно-сітчастого окуляру мікроскопа Neophot-32. Підрахунок площ пор робили при збільшенні в 250 разів. Квадратно-сітчастий окуляр складається із квадратів розмірами 10*10 мкм. Фіксуючи зображення шліфа на сітчастому окулярі, підраховували число квадратів, зайняте порами. Підрахунок площ пор проводиться в трьох перетинах приготовленого шліфа.

2.3.3 Методика визначення товщини шару

Шар, отриманий методом високошвидкісної лазерної обробки ультрадисперсних порошків, має мінімальне значення гребнистості і хвилястості. При такій рівності спеченого шару вимірювання достатньо проводити мікрометром із ціною шкали 0,01 мм [13].

У процесі проведених досліджень контроль товщини спеченого шару робили в трьох перетинах (початок, середина, кінець спеченого шару), у двох взаємно перпендикулярних площинах. Потім визначали середнє значення діаметра наплавленої поверхні.

2.3.4 Методика визначення міцності покриття

Випробування на розрив проводили з використанням розривної машини РМ-05 з найбільшим граничним навантаженням 500 кгс [14]. Розривна машина забезпечує автоматичний запис діаграми розтягання на паперовій стрічці і реєструє основні міцнісні характеристики: фізична межа міцності, тимчасовий опір розриву і відносне подовження при розриві. Цикл випробувань повністю автоматизований.

Для виконання експерименту по визначенню міцності покриття були виготовлені зразки (рис. 2.2) у вигляді втулки 2 діаметром 14 мм, в отвір якої встановлюється циліндр 1 з кінцевою частиною. Втулка і циліндр, виконані зі сталі 45, на кінцях мають різьби для встановлення їх у захватах випробувальної машини.

У сполученні «втулка – кінцева частина циліндра» забезпечувався зазор 0,013 мкм. Після установки циліндра у втулку кінцева частина циліндра стопорилася гвинтами 3, а поверхня циліндра і втулки шліфувалася на круглошліфувальному верстаті до чистоти Ra 3,2. Після шліфування зразки безпосередньо перед покриттям зазнавали обдування кварцовим піском грануляції 1,0-1,5 мм при відстані від сопла пістолета до деталі 100-120 мм і тиску дугтьового струменя 4,0-5,0 атм. Покриття формувалося в стику між втулкою і циліндром шириною 5 мм і товщиною в 0,5 мм.

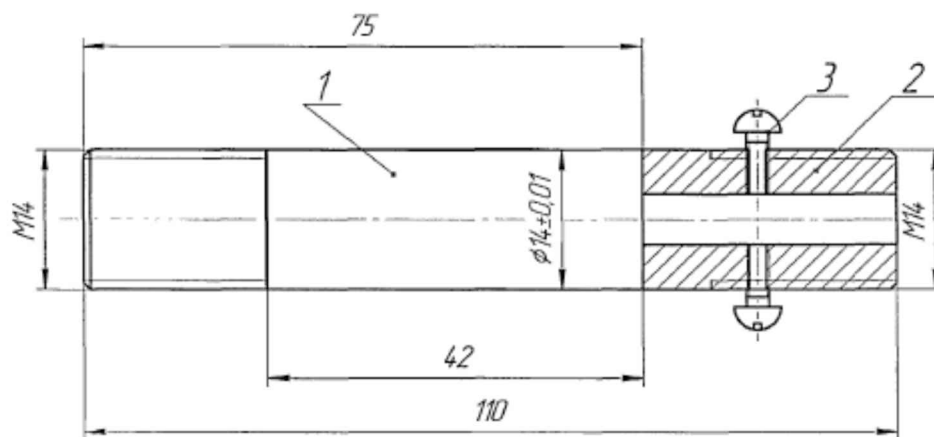


Рисунок 2.2 - Зразок для випробування металопокриттів на міцність зчеплення з основним металом

У процесі випробувань реєстрували навантаження, яке передуює руйнуванню покриття і відповідає тимчасовому опору

$$Q = P_{\text{макс}}/F_c, \quad (2.9)$$

де $P_{\text{макс}}$ - найбільше навантаження, Н;

F_c - площа перетину покриття, мм².

2.4 Методика стендових випробувань відновлених гідророзподільників

Оцінку якості відновлення і регулювання гідророзподільників здійснювали за допомогою стенда для випробувань моделі КИ-4815.

Стенд забезпечує можливість визначити:

- герметичність золотникової пари;
- зовнішню герметичність;
- внутрішню герметичність;
- регулювання і контроль тиску настройки запобіжного клапана;
- величину спрацьовування автомата повернення золотника.

Перед випробуваннями відновлені гідророзподільники перевірялися на гідрощільність. Випробування проводили згідно з технічними вимогами на капітальний ремонт ТК 70.0001.018-81. Необхідне навантаження для перевірки гідрощільності розподільника створювали вручну за допомогою дроселя. Золотник, що перевіряється, встановлювали в нейтральне положення.

Робочу рідину подавали в канал, що веде до циліндра під тиском 12 МПа. Вимірювання витоків здійснювали за 1 хв. при температурі робочої рідини 45-55°C із нагнітального каналу гідророзподільника. У відремонтованих золотникових пар гідророзподільників Р-80 при тиску 7 МПа вони повинні становити не більш 3-4 см³/хв. У якості робочої рідини використовували індустріальне мастило марки «И-20».

3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЛАЗЕРНОГО СПІКАННЯ ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

3.1 Результати досліджень

При проведенні однофакторних експериментів вирішувалися наступні основні завдання: визначення границь існування процесу формування шару, визначення оптимального процентного змісту міді в одержуваному шарі. При цьому контролювалися наступні вихідні параметри: пористість, мікротвердість, зносостійкість.

При визначенні границь існування процесу формування шару використовували порошкову композицію № 4 - без змісту міді (табл. 2.1). У процесі пошукових експериментів варіювали трьома основними параметрами імпульсно-періодичного випромінювання: частота проходження імпульсу, енергія імпульсу, швидкість сканування лазерного випромінювання. У процесі досліджень контролювалася якість спеченого шару: товщина шару, його пористість. Якщо пористість перевищувала 50%, то якість вважалася незадовільною.

Основною проблемою в процесі пошуку границь з'явилося визначення частоти проходження імпульсів, оскільки немає літературних даних про роботи в даному напрямку. Тому в процесі пошуку частоти імпульсу виходили з міркувань одержання швидкості рекристалізації порошкових часток порядку 1-2 м/с. Така швидкість рекристалізації забезпечує одержання розміру ЕКС порядку 40-50нм, що дозволяє значно збільшувати експлуатаційні властивості покриттів.

Вибір потужності лазерного випромінювання також викликав деякі складності: як вказувалося вище, для щільності потужності лазерного випромінювання було прийнято Гауссовий розподіл по перетину, однак Гауссовий розподіл можна використовувати в одномодовому або багатомодовому режимах обробки. Перехід з одномодового режиму в багатомодовий призводить до зниження щільності потужності, але при цьому

загальна енергія імпульсу зберігається.

Початковими експериментами встановили, що при обробці в одномодовому режимі з максимальною енергією в імпульсі в 14 Дж, відбувається повне випаровування порошкового шару. Зниження енергії імпульсу зменшує величину випаровування, але при цьому утворюються яскраво виражені борозенки пор із частково оплавленого матеріалу (рис. 3.1), від дії лазерного випромінювання.

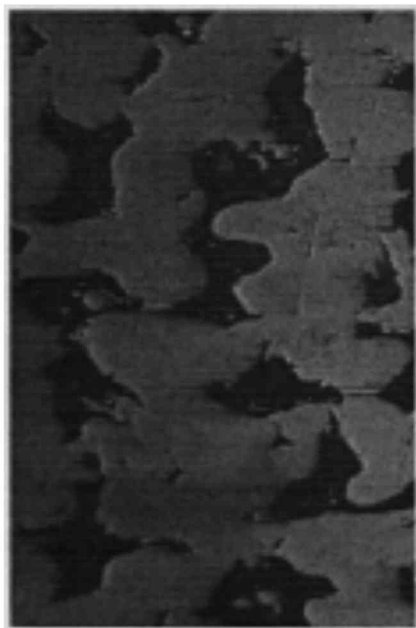


Рисунок 3.1 - Борозенки, утворені при одномодовому режимі обробки
(збільш. 500)

Утворення борозенок надалі призводить до збільшення пористості одержуваного шару і зниженню його міцності. Тому при обробці ультрадисперсних порошкових матеріалів використовували багатомодовий режим обробки. Зміну енергії імпульсу робили зміною струму ламп розжарювання лазера.

Проведені пошукові експерименти дозволили визначити границі існування процесу формування покриття (рис. 3.2). Із графіка видно, що на пористість шару істотно впливає частота проходження імпульсів. Зниження пористості відбувається стрибкоподібно, і проміжок низької пористості існує в досить вузькому діапазоні частот - від 30 до 36 кГц.

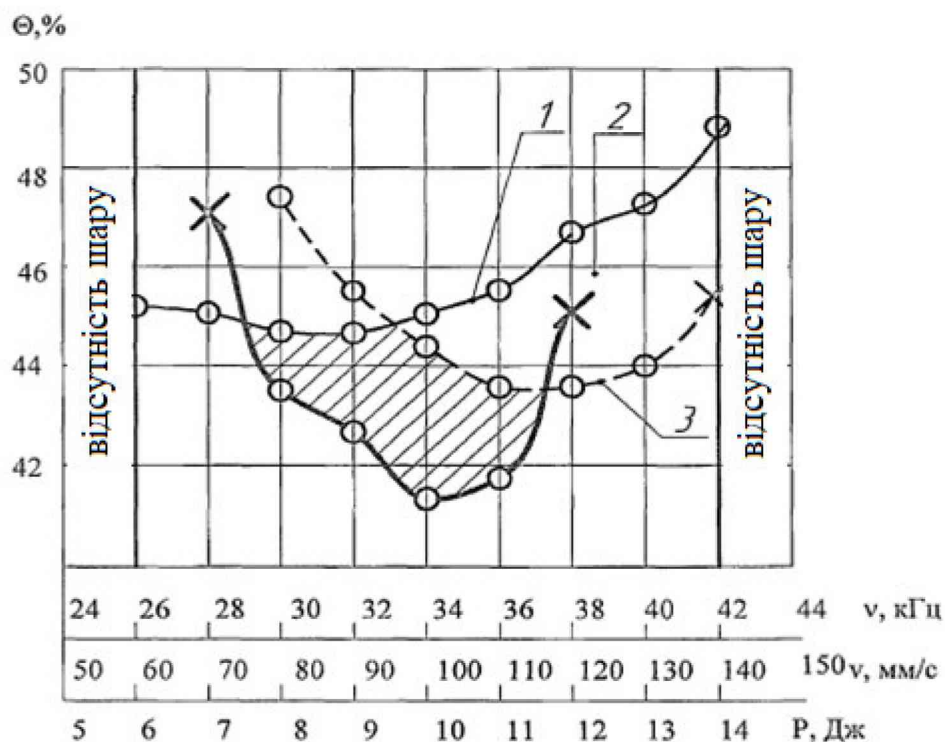


Рисунок 3.2- Границі параметрів для забезпечення якості процесу формування шару 1 -швидкість сканування, мм/с; 2 - частота імпульсу, Гц; 3 - енергія в імпульсі, Дж

При збільшенні частоти проходження імпульсів вище 38 кГц процес формування покриття припиняється. Меншою мірою пористість шару залежить від швидкості сканування і енергії імпульсу лазерного випромінювання. За початкову швидкість сканування лазерного випромінювання приймали швидкість в 60 мм/с. Вибір швидкості робили за рекомендаціями Григор'янца [15]. При збільшенні швидкості сканування понад 100 мм/с відбувається збільшення пористості шару, тому верхній рівень при плануванні експерименту обмежували швидкістю 100 мм/с.

За нижню межу енергії імпульсу брали значення, при якому відбувається формування покриття, що відповідає значенню в 8 Дж. У проміжку від 11 до 14 Дж пористість шару змінюється незначно, однак при збільшенні енергії імпульсу вище 13 Дж процес спікання переходить у плавлення, що не відповідає поставленим завданням. При збільшенні енергії імпульсу вище 14 Дж нанесений порошковий шар практично повністю випаровується. Тому при

плануванні експерименту брали за верхній рівень значення в 14 Дж.

При проведенні подальших однофакторних експериментів до складу порошкової суміші вводили 1%, 4% і 10% міді. Склади порошкових сумішей зазначено в таблиці 2.1.

Оптимальними вважалися режими обробки, при яких виходили моношари без слідів жолоблення, а також без дефектів у зоні спікання порошкового матеріалу з підкладкою.

Після лазерної обробки проводилися металографічні, рентгеноструктурні дослідження зразків, а також вимірювання мікротвердості, пористості шарів у зоні лазерного спікання.

Для аналізу мікроструктури отриманого шару були виготовлені мікрошліфи в поздовжньому перетині шару без травлення поверхні. Характерна мікроструктура спеченого шару представлена на рис. 3.3 (збільшення 250).



Рисунок 3.3 - Мікроструктура шару з порошкової суміші: Fe + 0,5 %C

Мікроструктура являє собою світлі і темні зони: темна зона характеризує об'ємні мікропори, світла зона - спечені мікрооб'єми порошку. Мікропористість шару для порошкової суміші без міді становить порядку 40..45 %.

Однак сприятливі умови зносостійкості виникають при пористості шару 15...20 %. Підвищення пористості вище 25 % призводить до значного зниження міцності шару і швидкому його руйнуванню в процесі експлуатації.

Із введенням міді пористість значно знижується (рис. 3.4). Зниження

пористості формованих шарів пов'язане зі зміною кінетики дифузійних процесів під впливом мідної складової. Температура плавлення міді нижче температури плавлення залізовуглецевих сплавів, що забезпечує більш ранній розвиток міжчасткових зв'язків і ріст шийок і тим самим більш активний перенос речовини, що призводить до зменшення сумарного об'єму пор у шарі. При підвищенні вмісту міді пористість значно збільшується. Підвищення пористості відбувається через виділення мідної складової із залізовуглецевого складу суміші і її самостійної рекристалізації.

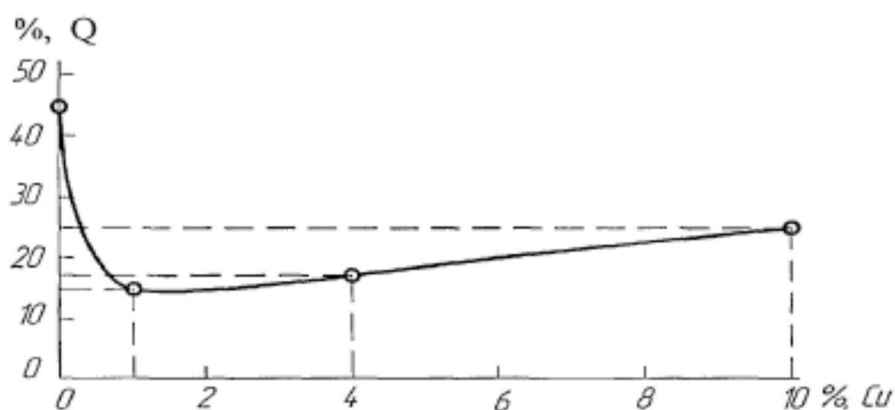


Рисунок 3.4 - Пористість шарів залежності від вмісту міді

Мікротвердість спечених шарів неоднорідна для всіх порошкових сумішей і змінюється в межах від 289 до 520 МПа (рис 3.6). Збільшення мікротвердості при 1% міді свідчить про утворення твердих структурних складових. Утворення таких структур, можливо, зв'язане впливом міді на механізм фазових перетворень, що протікають у ході лазерної обробки.

При збільшенні вмісту міді до 4% мікротвердість значно знижується (рис. 3.5), оскільки при лазерному спіканні завдяки підвищеній швидкості рекристалізації дифузійні процеси значно ускладнюються, що призводить до виділення мідної складової. Виділення мідної складової відбувається по границях, що є причиною зниження мікротвердості спеченого шару. Подальше збільшення вмісту міді також веде до зниження мікротвердості.

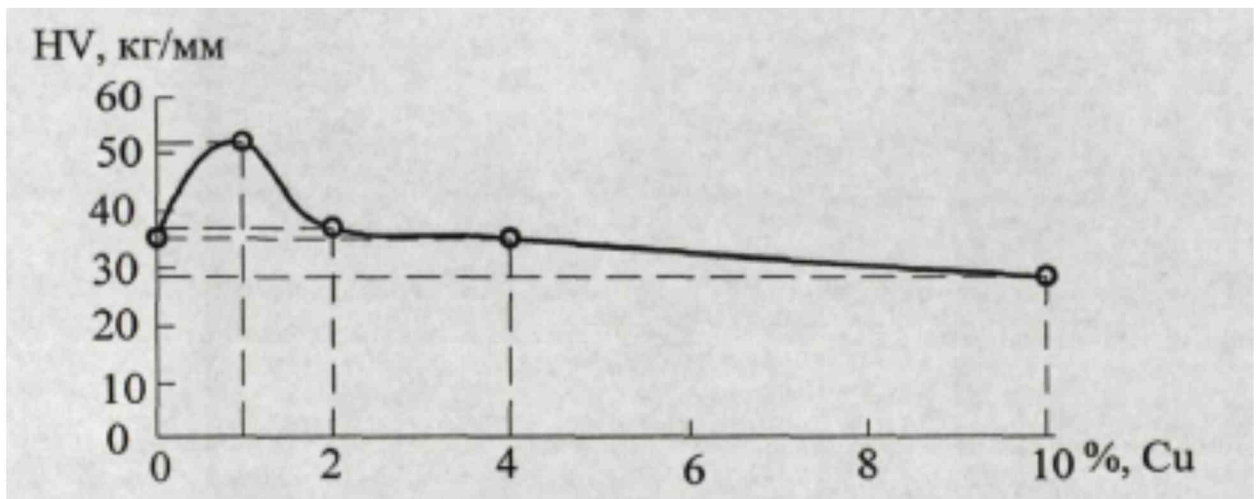


Рисунок 3.5 - Мікротвердість спечених шарів в залежності від вмісту міді

На пористість шару в основному впливають три фактори: енергія імпульсу, частота проходження імпульсів і швидкість сканування. Підвищення енергії імпульсу приводить до підвищення пористості, що пояснюється утворенням плазми і активним горінням часток порошку. Зниження енергії імпульсу також призводить до підвищення пористості. Підвищення пористості пов'язане з нестачею температури для утворення міжчасткових зв'язків і низьким дифузійним процесом.

З рис. 3.6 видно, що пористість і мікротвердість - більшою мірою залежать від частоти проходження імпульсів. При цьому пікові значення параметрів існують у досить вузькому діапазоні частот. Максимальне значення мікротвердості і мінімальне значення пористості відповідає частоті проходження імпульсів порядку 33,5 кГц. Зниження частоти імпульсів нижче 33,5-33 кГц призводить до стрибкоподібного зниження мікротвердості від 520 до 460 МПа. Зниження мікротвердості і збільшення пористості, швидше за все, походить із-за неповного проплавлення порошкових часток внаслідок збільшення міжімпульсних відстаней, у результаті чого порошкові частини між імпульсами не проплавляються і тим самим збільшується пористість шару. Збільшення пористості призводить до зниження когезійної міцності шару і тим самим зниженню мікротвердості. Збільшення частоти проходження імпульсів понад 34 кГц також призводить до стрибкоподібного зниження

мікротвердості шару. Пояснення такому явищу, швидше за все, пов'язане з більшим перекриттям імпульсів і багаторазовою перекристалізацією.

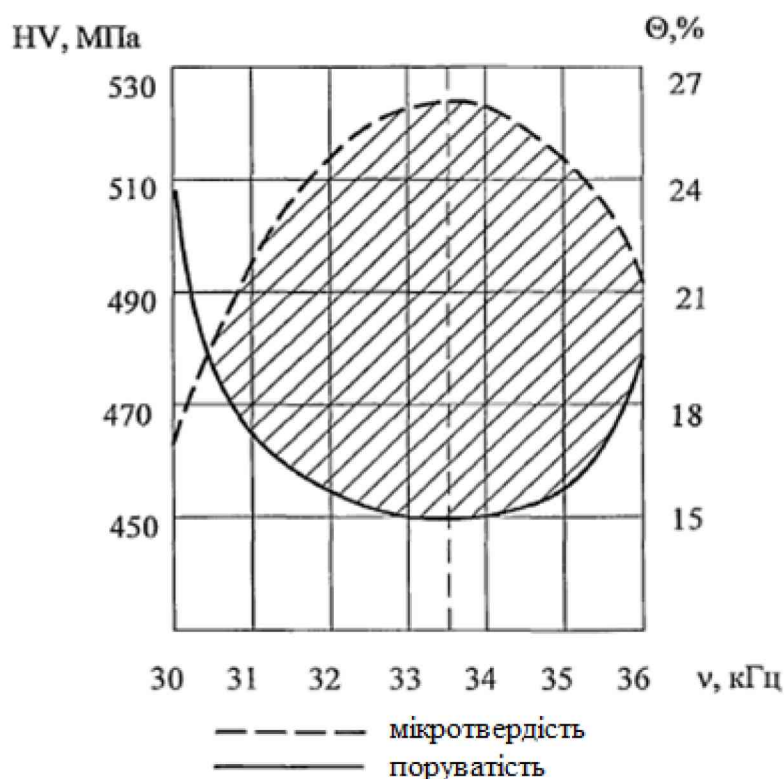


Рисунок 3.6 - Залежність пористості і мікротвердості від частоти проходження імпульсів

Залежність пористості і мікротвердості від енергії імпульсу також носить сильно виражений стрибкоподібний характер (рис. 3.7). Максимальне значення мікротвердості і мінімальне значення пористості існує у вузькому діапазоні потужностей імпульсу, оптимальне значення яких відповідає енергії імпульсу в 12 Дж. Збільшення потужності понад 12 Дж призводить до зниження мікротвердості і збільшенню пористості шару. Оскільки лазерне випромінювання впливає високою концентрацією енергії на малу площу, то збільшення енергії імпульсу призводить до миттєвого випаровування порошкових часток, тому що останні мають малі розміри (близько 800 нм). У результаті цього процес спікання порошкових матеріалів значно ускладнюється через зниження рідкої фази між порошковими частками. Зниження енергії імпульсу нижче 11 Дж призводить до зниження

мікротвердості і збільшення пористості в силу недостатніх температур для проплавлення поверхні порошкових часток і тим самим зниження кількості міжчасткових зв'язків між порошковими частками.

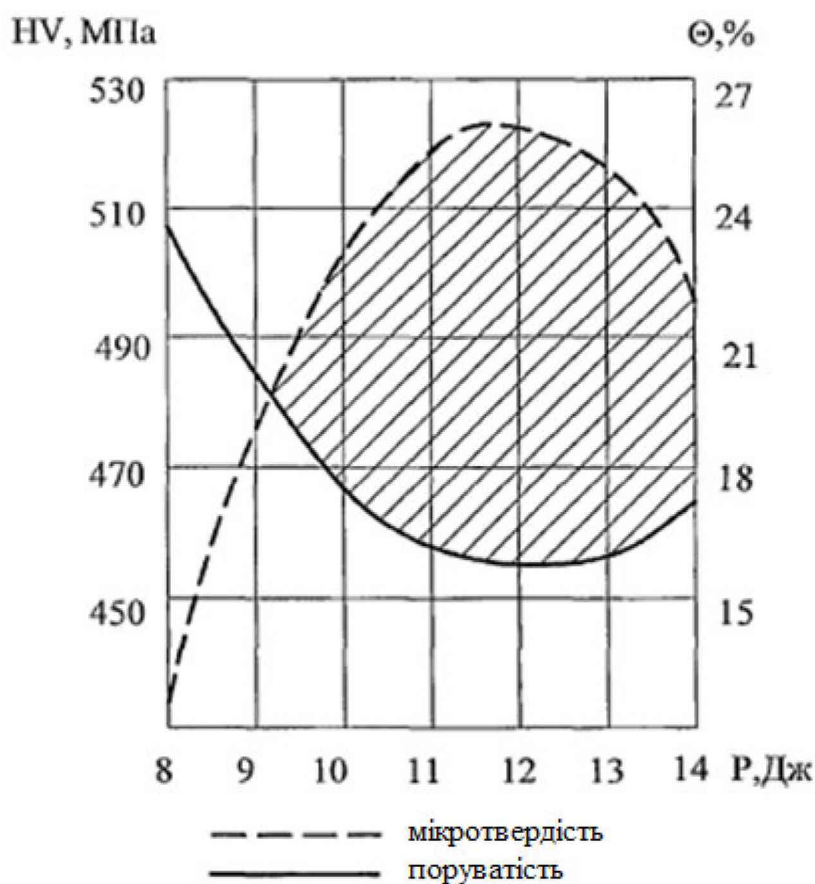


Рисунок 3.7 - Залежність пористості і мікротвердості від енергії імпульсу

Швидкість сканування має менш виражений вплив на пористість і мікротвердість формованого покриття (рис. 3.8). Оптимальним проміжком є швидкості від 80 до 90 мм/с. Підвищення швидкості понад 90 мм/с призводить до зниження мікротвердості в силу зниження часу на дифузійні процеси. Таким чином, з аналізу впливу основних регульованих факторів на пористість і мікротвердість випливає, що найбільш оптимальними параметрами процесу формування покриття є наступні параметри: потужність імпульсу W-12 Дж, швидкість сканування V- 80 мм/с, частота проходження імпульсів ν - 33500 Гц.

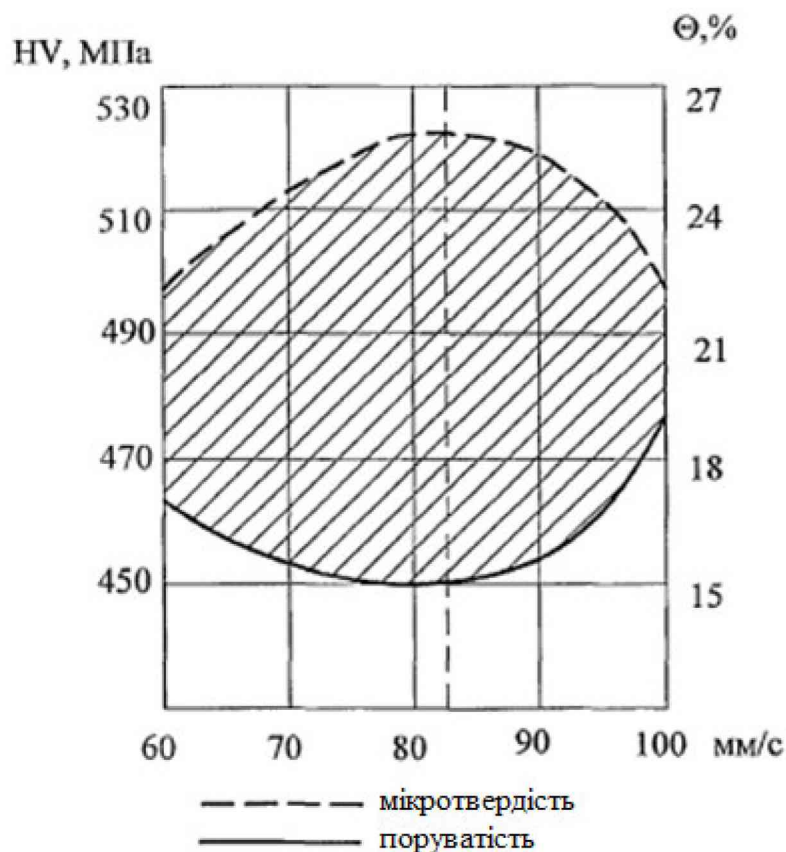


Рисунок 3.8 - Залежність пористості і мікротвердості від швидкості сканування

3.2 Міцності пористих покриттів

Для визначення характеристики працездатності формованих покриттів досліджували їхні міцності.

Були проведені дослідження міцності формованих покриттів залежно від складу порошкових сумішей (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 - Результати випробувань міцності покриттів.

№ зразка	% Cu	0% Cu	1 % Cu
		Міцність покриття, МПа	Міцність покриття, МПа
1		13	94,5
2		16,2	103,5
3		9,75	84
4		14,3	117,2
5		10,6	92,3
6		18,7	89
Середнє значення		13,76	118,8

Для порівняння міцності формованих покриттів використовували порошкову суміш без вмісту міді і з вмістом міді 1% (покриття має максимальну твердість і зносостійкість).

На рис. 3.9 представлена характерна діаграма розтягання при випробуванні на розрив формованих покриттів.

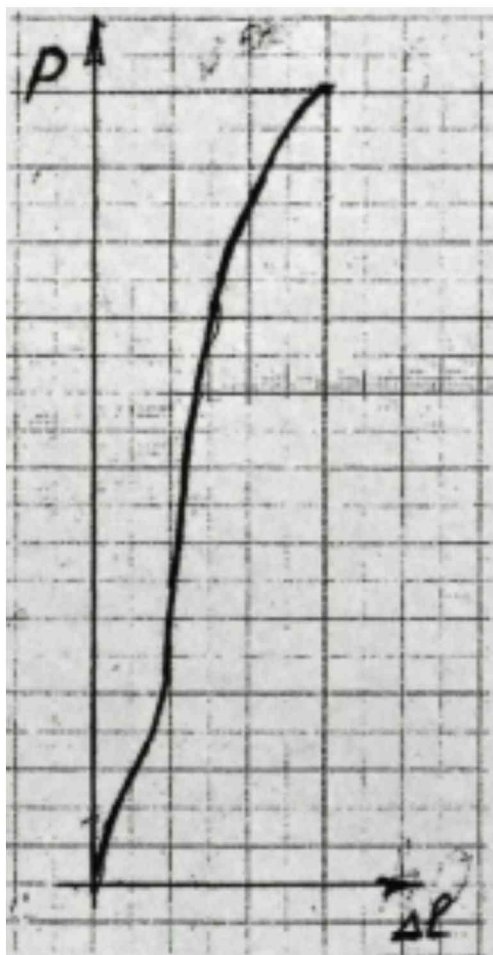


Рисунок 3.9 - Характерна діаграма розтягання при випробуванні на розрив отриманих покриттів.

Діаграма розтягання не має площі плинності, що характерно для пористих покриттів, оскільки пори є концентраторами напруг. З додаванням міді і з його підвищенням картина діаграми розтягання не змінюється.

4. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ЗОЛОТНИКА ГІДРОРОЗПОДІЛЬНИКА Р 80 ВИСОКОШВИДКІСНОЮ ЛАЗЕРНОЮ ОБРОБКОЮ ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Сучасні трактори, комбайни, автомобілі, сільськогосподарські машини оснащуються значною кількістю гідравлічних вузлів і агрегатів. Від їхнього технічного стану багато в чому залежить надійність і експлуатаційні показники техніки.

Роздільно-агрегатні гідравлічні приводи базуються на наступних основних елементах: насос, гідророзподільник, силовий циліндр і бак. У реальних системах має місце кілька силових циліндрів і навіть кілька розподільників [16].

Одним з найбільш складних і відповідальних агрегатів у гідросистемі, поряд з гідронасосами і гідроциліндрами, є гідророзподільник. Від надійності його роботи залежить продуктивність гідроагрегату. Тим часом відомо, що нормативний 80%-ий ресурс гідророзподільника складає 6 тис. мотогодин, за даними рядових експлуатаційних випробувань, в умовах забрудненої робочої рідини становить не більш 2...3 тис. мотогодин. Дефіцит гідророзподільників як запасних частин становить більш 50% від необхідної кількості. Недостатньо високий ресурс гідророзподільників пояснюється, в основному, низкою зносостійкістю пари «золотник-корпус».

На сьогоднішній день відновлення пари «золотник - корпус» має досить обмежену кількість методів, оскільки дане з'єднання є прецизійним і має мале граничне зношування.

Вихідні дані для проектування технологічного процесу відновлення золотників гідророзподільника наступні:

1. Відомості про дефекти і передбачувана програма відновлення деталей.

Мікрометражні дослідження, проведені в роботі, свідчать, що основним дефектом золотникової пари є зношування робочих пасків золотника і корпусу. Коефіцієнт повторюваності дефекту рівний 1,0.

2. Організаційна форма відновлення деталей.

При розробці технологічного процесу повинні враховуватися можливості ремонтних підприємств і їх технічне оснащення.

3. Обраний раціональний спосіб усунення дефектів по кожному маршруту.

Обраний спосіб відновлення лазерним спіканням порошкових матеріалів.

4. Схеми технологічних процесів усунення кожного дефекту.

5. План виконання всіх операцій, передбачених маршрутом. Проектування маршруту обробки.

005. Мийна.

Промити деталі в розчині мийного засобу “Лабомид-315” або МС-15 ТУ 38-10738-73 концентрацією 20г/л., температура розчину 70-75°C.

010. Дефектувальна.

Дефектувати деталь згідно з технічними вимогами на капітальний ремонт ТК 70.0001.018-81.

Визначити найменший діаметр пасків золотника.

015. Безцентрово-Шліфувальна (на прохід).

Виводити сліди зношування і виправляти геометричну форму пасків золотника, витримуючи найменший розмір. Швидкість обертання привідного кола 30 м/хв., швидкість обертання шліфувального кола 40 м/с. Обробку робити за 1 операцію.

020. Формування покриття лазерною обробкою.

Нанести на паски золотника шар товщиною не менш 0,05мм на сторону порошковою композицією: Fe+0.5%Zn+1%Cu. Енергетичні режими лазерної установки «Квант-60»: Енергія в імпульсі 12 Дж; швидкість сканування 80 мм/с; частота проходження імпульсу 33,5 кГц.

025. Безцентрово-Шліфувальна (на прохід)

Шліфувати поверхні робочих пасків, швидкість обертання привідного кола 30 м/хв., швидкість обертання шліфувального кола 50 м/с. Обробку робити за 5 операцій, витримуючи технологічний розмір і зазор у сполученні 12±4 мкм. Протерти паски золотника ганчіркою, зволоженою гасом.

030. Контрольна.

Контролювати сполучення по гідросzczільності при тиску $P=7$ МПа, витоку не більш 3 см/хв.

Вибір засобів технологічного оснащення.

Операція 005. Мийна.

Устаткування. Мийна машина ОМ 9313.

Операція 010. Дефектувальна.

Устаткування. Контрольний стіл ОРГ 1468-01-060А, лещата слюсарні.

Міряльний інструмент. Мікрометр важільний 25-50 з точністю 0,001 мм, індикаторний нутромір 18-25 з точністю 0,001мм.

Операція 015. Безцентрово - шліфувальна

Устаткування. Безцентрово - шліфувальний верстат ЗШ-184І.

Різальний інструмент. Коло шліфувальне 15А16С15 ДК8 500х550х305, коло ведуче 15А16ТВ5 ДК5 350х300х203.

Міряльний інструмент. Мікрометр важільний 25-50 з точністю 0,001 мм.

Операція 020. Формування покриття лазерною обробкою ультрадисперсних порошкових матеріалів.

Устаткування. Лазерна установка «Квант-60»;

Пристосування. Пристосування для приводу деталі; захисна камера.

Міряльний інструмент. Мікрометр важільний 25-50 з точністю 0,001 мм.

Операція 025. Безцентрово - шліфувальна Устаткування. Безцентрово - шліфувальний верстат ЗШ-184І.

Різальний інструмент. Коло шліфувальне 15А16С15 ДК8 500х550х305, коло ведуче 15А16ТВ5 ДК5 350х300х203.

Міряльний інструмент. Мікрометр важільний 25-50 з точністю 0,001 мм.

Операція 030 Контрольна.

Устаткування. Випробувальний стенд КИ-4815.

ВИСНОВКИ

1. Зроблено вибір порошкових матеріалів і зв'язувальної речовини: для формування металопокриттів в якості основи використовували карбонільне залізо марки Р-100 (має максимальну хімічну чистоту і забезпечує розмол до ультрадисперсного стану), порошок кристалічного графіту (у якості матеріалу, що підвищує коефіцієнт поглинання лазерного випромінювання, що і знижує коефіцієнт тертя між порошковими частками при ущільненні) і порошку міді (метал, що забезпечує зниження пористості шару за рахунок більш раннього утворення рідкої фази), у якості зв'язувальної речовини використовували чотирихлористий вуглець, який так само бере участь у зміцненні шару за рахунок розкладання під впливом лазерного випромінювання до атомарного вуглецю.

2. Дослідження механічних властивостей отриманих металопокриттів показали, що мікротвердість шарів у великому ступені залежить від вмісту міді в порошковій суміші, причому максимальна мікротвердість спостерігалася в покриттів з порошкової суміші зі вмістом міді в 1% і становить 520 МПа. Міцність металопокриття без вмісту міді становить 13,76 МПа, зі вмістом міді в 1% - 118,8 МПа.

3. Розроблена технологія одержання тонких пористих покриттів на зношених поверхнях циліндричних деталей лазерною обробкою ультрадисперсних порошкових матеріалів.