

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: «Відновлення деталей сільськогосподарської техніки
висококонцентрованим джерелом енергії»

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

Зубко Артем Іванович

Прізвище та ініціали здобувача вищої освіти

Керівник: Сайчук О.В.

Прізвище та ініціали керівника

Рецензент: Науменко А.О.

Прізвище та ініціали рецензента

ВСТУП

Оснащення сільськогосподарського виробництва України сучасною продуктивною технікою вимагає подальшого вдосконалення технічного обслуговування і ремонту машин. Це зв'язано з тим, що використання нових технологій, матеріалів дозволяє підвищити надійність сільськогосподарських машин і агрегатів, але не усуває спрацювання деталей і з'єднань в період їх експлуатації. Це приводить, у свою чергу, до зниження техніко-економічних показників використання машинотракторного парку в АПК.

В господарствах після капітального ремонту експлуатується більше 50% тракторів, 60% комбайнів, 75% двигунів, що викликає (при низькому моторесурсі) високу потребу в ремонтно-обслуговуючому виробництві. В даний час в господарствах використовується велика кількість запасних частин, які значно підвищують вартість ремонтних робіт. Відновлення зношених деталей дозволяє понизити витрати на ремонт техніки. Практика показує, що ресурс відновлених деталей досягає ресурсу нових, при вартості на 40-50% нижче нових.

Важливе місце при цьому належить розробці і застосуванню прогресивних технологій, що дозволяють різко поліпшити якісні показники відновлюваних деталей.

У сучасному ремонтному виробництві значна роль належить наплавленню, як провідному способу відновлення зношених деталей. Питома вага зварювально-наплавлувальних процесів, в загальному об'ємі відновлення деталей, складає 75-80%. Питанням розробки і застосування таких процесів в практиці ремонтного виробництва, присвячені роботи великої групи учених, у тому числі, Є.Л. Воловика, В.А. Деєва, Н.П. Дорожкіна, В.А. Коржа, Н.В. Молодика, А.В. Поляченко, А.І. Сідашенко, М.І. Черновола, В.И. Черноіванова і ін. Проте разом з широким використанням традиційних методів наплавлення, є питання технологічного плану, що обмежують їх застосування для відновлення деталей складної форми, невеликого місцевого спрацювання, що порушує нормальну роботу складних і точних вузлів і агрегатів.

Важливим резервом підвищення довговічності деталей і вузлів

сільськогосподарської техніки є застосування високоефективних технологій відновлення розмірів, зміцнення поверхонь деталей, на базі використання концентрованих джерел енергії. Дослідження специфічних особливостей лазерного впливу на матеріали, використання лазерних систем при створенні технологій зміцнення і відновлення деталей є актуальною задачею в ремонтній науці і практиці.

В машинобудуванні лазерне наплавлення вже зарекомендувало себе, як ефективний спосіб покращення експлуатаційних характеристик робочих поверхонь деталей машин. Разом з тим, вона ще не отримала широке застосування на машинобудівних і ремонтних підприємствах. Це пов'язано з відсутністю систематизованих даних про зв'язки параметрів фізико-хімічних процесів при наплавленні з характеристиками лазерного випромінювання, не досліджені питання застосування дешевих наплавлювальних матеріалів, відсутні рекомендації за способами подачі порошкових сумішей на відновлювані поверхні, не обґрунтовані області застосування технології, відсутні розробки технологічних процесів лазерного наплавлення конкретних деталей сільськогосподарської техніки при відновленні.

Тому, дослідження направлені на створення технології лазерного наплавлення відповідальних деталей сільськогосподарської техніки з використанням порошкових сумішей досить актуальні, саме вирішенню цих питань присвячена магістерська робота.

1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ЛАЗЕРНОЇ ОБРОБКИ

1.1 Аналіз використання методів наплавлення при відновленні деталей сільськогосподарської техніки

Багато деталей сільськогосподарської техніки працюють в умовах високих динамічних навантажень, що викликає їх підвищений знос. Особливо це відноситься до групи деталей типу "вал кулачковий". Як показують дослідження, ресурс розподільного валу двигуна СМД-60 складає 1740 мото-годин до капітального ремонту. Одним з основних дефектів деталі є знос кулачків по висоті на робочій ділянці профілю. Для відновлення таких деталей рекомендують відновлення ручною електродуговою зваркою або вібродуговим способом. Є група кулачкових валів паливних насосів, які мають піттинговий знос поверхонь кулачків внаслідок високих контактних навантажень. До таких деталей можна віднести хрестовини карданних передач, вали перемикачів передач КПП, деталі гідроапаратури, шестерні.

Необхідно відзначити, що стосовно відновлення таких деталей доцільно використовувати прецизійні методи наплавлення. Це пов'язано з обмеженнями через порушення форми деталі (вплив термонапружень) і необхідністю наносити невеликий шар компенсаційного матеріалу на зношену поверхню.

Існуючі способи відновлення деталей, що працюють в умовах контактних напружень можна класифікувати згідно рис. 1.1 [1].

Як показують дослідження, вимоги до відновлюваних деталей сільськогосподарських машин такого класу наступні: забезпечення високої міцності зчеплення між матеріалом деталі і наплавленням; способи наплавлення з достатніми фізико-механічними властивостями матеріалу (зносостійкість, контактна міцність, низькі внутрішні напруження), що наноситься; локальність нанесення присадного матеріалу; невисока вартість процесу. Метод нанесення покриття повинен бути стабільним, технологічним, мобільним по відношенню до зміни розмірів відновлюваних деталей. Аналіз існуючих методів (рис. 1.1) не дозволяє дати остаточних рекомендацій по їх

застосуванню при відновленні деталей даного класу. Це також підтверджується таблицею 1.1.

Таблиця 1.1 - Характеристика методів відновлення деталей

Метод відновлення	Глибина дефектного шару
Металізація	
Плазмово-дугова	0,05-0,10
Електродугова	0,5-1,0
Газова	0,05-0,10
Наплавка	
Електродугова під шаром флюсу	0,2-0,5
Порошковими дротами	1,2-2,4
В середовищі захисних газів	0,44-0,8
Електроімпульсна	0,2-0,4
Вібродугова	0,2-0,5
Ручна (електродами)	0,5-1,0
Плазмова	0,1-0,3
Газова	0,25-0,5
Електрошлакова	1,0-2,0
Лазерна	0,05-0,15
Електролітичне осадження	
Хромування	0,03-0,05
Нікелювання	0,02-0,03
Залізнення	0,03-0,05
Нанесення полімерних матеріалів	
Напилення	0,35-0,7
Лиття під тиском	0,15-0,21

1.2 Зміцнення деталей лазерним променем. Устаткування і оснащення для лазерної обробки

Лазерна обробка матеріалів і деталей машин, є новим науково-технічним напрямом технології машинобудування і інших галузей промисловості.

Застосуванню в області металообробки лазери зобов'язані цілому ряду унікальних властивостей випромінювання. Основними властивостями лазерного випромінювання є його спрямованість, когерентність, висока густина потужності (енергії), а також монохроматичність випромінювання. Численні результати проведених досліджень показали, що дія лазерного випромінювання на матеріали, в основному, підкоряється загальним закономірностям термічної обробки.

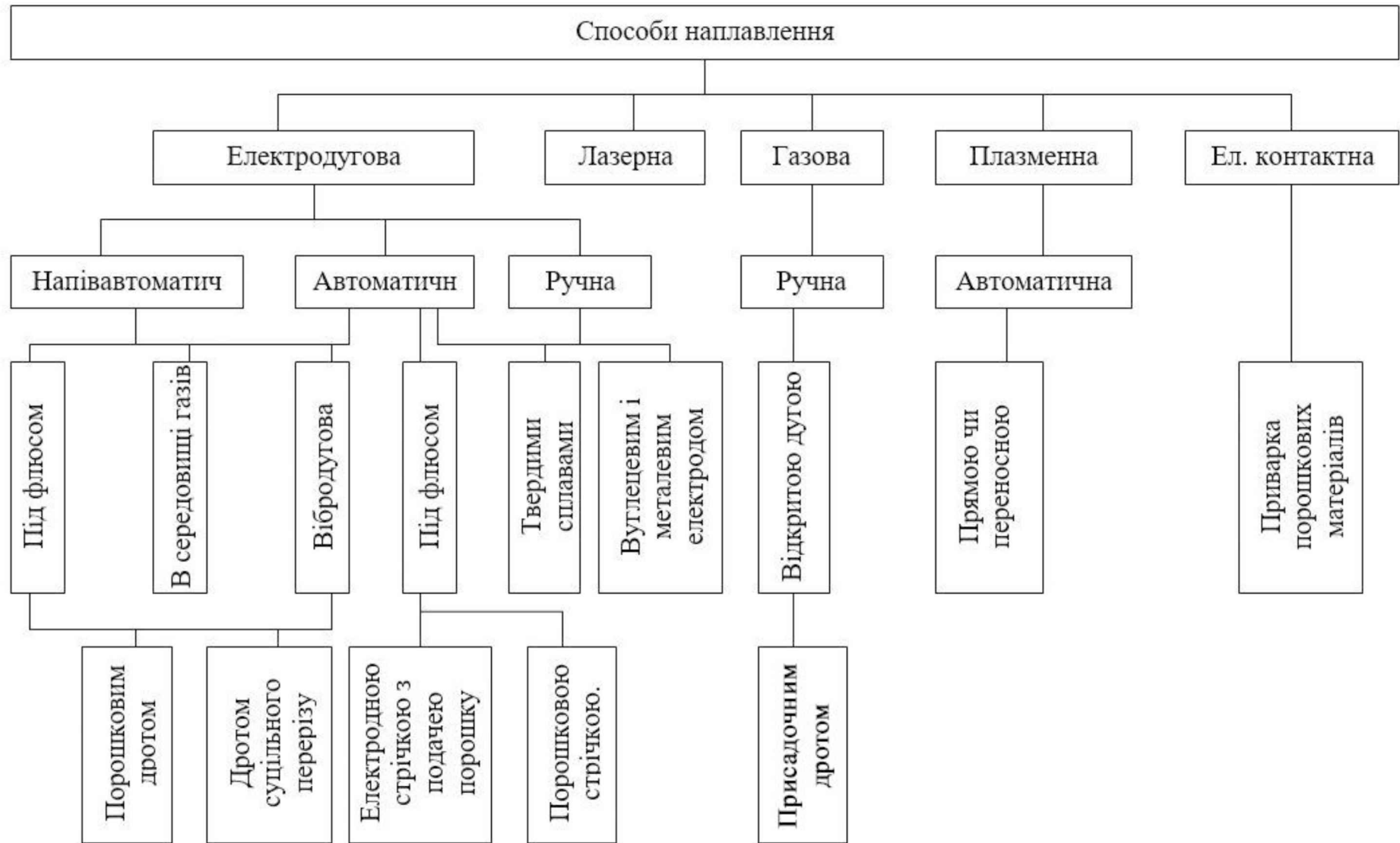


Рисунок 1.1 Класифікація способів відновлення навантажених деталей сільськогосподарської техніки

Сучасні лазерні системи дають можливість отримати густину потужності випромінювання порядку $q=8 \cdot 10^{14}$ Вт/м², що дозволяє досягти швидкостей нагріву $2..3 \cdot 10^4$ град/с і охолодження за рахунок тепловідводу в серцевину холодного металу $6..8 \cdot 10^3$ град/с.

Основні методи лазерної поверхневої обробки матеріалів представлені на рис. 1.2 [2].

Аналіз методів лазерної обробки показує, що вони утворюють групи, засновані безпосередньо на нагріві, плавленні, випаровуванні і ударному впливі матеріалу залежно від густини потужності випромінювання і часу його дії.

Нагрів включає відпал матеріалів, а також найпоширеніший метод лазерного поверхневого зміцнення за допомогою фазових перетворень в твердому стані в поверхневих шарах металів і сплавів при дуже швидкому нагріві і подальшому охолодженні.

Шляхом плавлення можна здійснювати такі методи поверхневої обробки, як легування, аморфізацію, наплавлення, оплавлення заздалегідь нанесеного шару матеріалу, а також проводити лазерне очищення зерен металів і сплавів.

Процеси, пов'язані з випаровуванням матеріалів лазерним випромінюванням, використовують, в основному, для отримання особливо чистих матеріалів, а в машинобудуванні вони знаходять менше застосування.

Ударна дія (навантаження), обумовлена дією "гігантських імпульсів" випромінювання, визначає ударне зміцнення матеріалів. Зараз даний напрям зміцнюючої лазерної обробки знаходиться у стадії наукових досліджень.

Діаграми значень діапазонів густини потужності лазерного випромінювання і часу його дії при різних видах лазерної обробки приведені на рис. 1.3.



Рисунок 1.2 Класифікація методів лазерної поверхневої обробки

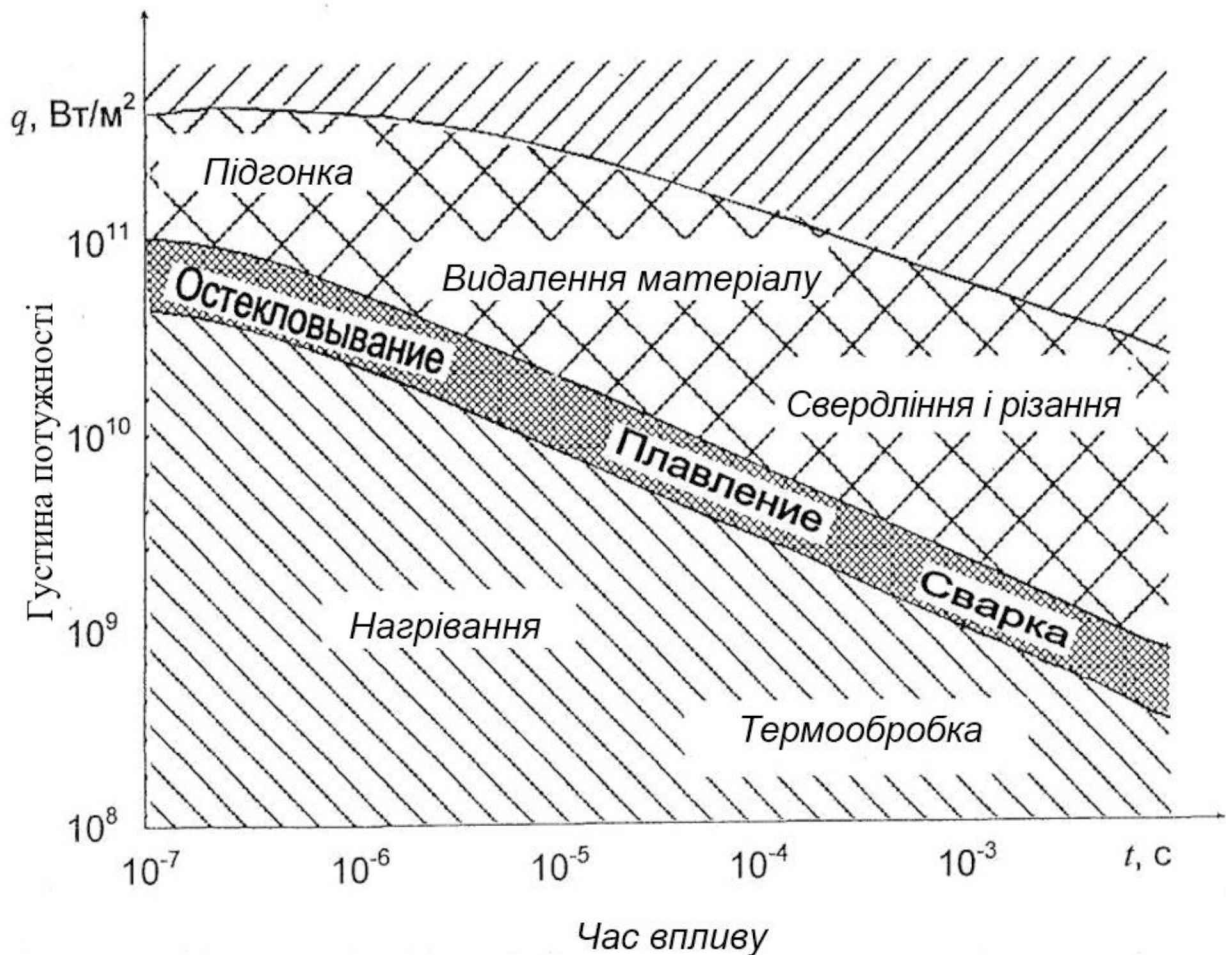


Рисунок 1.3 - Діаграма значень діапазонів густини потужності лазерного випромінювання і часу його впливу при різних видах

Для реалізації вказаних методів ЛО існує велика кількість промислових лазерів, які мають відповідні енергетичні характеристики випромінювання для взаємодії з матеріалами. Найбільша потужність випромінювання отримана у лазерів, що працюють на вуглекислому газі (CO_2), рубіні, склі і алюмо-ітрієвім гранаті, легованим неодимом. З твердотілих лазерів найбільший інтерес і перспективність для технологічної мети мають лазери на алюмо-ітрієвому гранаті (АІГ). Вони можуть працювати як в імпульсному, так і в безперервному режимі (таблиця 1.2). Потужність випромінювання вказаних лазерів достатня для проведення операцій гартування і наплавлення. Крім того, даний тип лазера генерує випромінювання, що добре поглинається металевою поверхнею і ККД процесу вище, ніж при обробці аналогічного матеріалу випромінюванням CO_2 - лазера, а по термічному впливу лазером ЛТН-103 потужністю 250 Вт обробка

сталі і чавуну еквівалентна обробці випромінюванням CO₂- лазера потужністю 800 Вт.

Таблиця 1.2 - Основні параметри імпульсно-неперервних лазерів на АІГ

Тип	Довжина хвилі, мкм	Потужність випромінювання, Вт	Розтікання випромінювання, м-рад	Маса установки, кг
ЛТН-101	1,06	63	10	200
ЛТН-102А	1,06	125	10	200
ЛТН-103	1,06	250	12	300

Проте найбільше застосування для технологічної мети отримали газові CO₂ лазери, що працюють на вуглекислому газі з добавками азоту і гелію. Потужність таких лазерних установок досягає 10 кВт, вони достатньо стабільні і надійні в роботі. Основні параметри CO₂-лазерів приведені в таблиці 1.3 [3].

Наявність широкої гамми лазерних установок, дозволяє вибрати тип лазера і відповідну його потужність. Окрім джерела лазерного випромінювання в технологічному ланцюзі необхідні елементи, які забезпечують робочі функції лазерного комплексу. До них відносяться: відсікач випромінювання (заслінка), вимірник потужності лазерного випромінювання, променепроводи, фокусуєча оптика, технологічні модулі для маніпуляцій з оброблюваними деталями. Промисловістю налагоджений широкий випуск необхідного допоміжного устаткування і оснащення для лазерної обробки.

Таблиця 1.3 - Основні параметри неперервних технологічних CO₂ лазерів

Тип	Потужність Випромінювання кВт	Нестабіль- ність потужності %	Розтіка- емість променя м-рад	ККД, %	Витрата газу, м ⁻¹	Потужність кВт
ЛГН-702 "Кардамон"	0,8	3-10	3,0	8-10	0,12	10
Комета-2	1,2	2-5	3,0	10- 15	0,16	30
Кипр	0,9	-	2,3	10	0,32	25
Хебр-1А	1,2	3,0	2,0	6	0,12	30
Лантан-3	3,0	-	3,0	8-10	0,1	-

ЛВКО-ЕВЕРЕТТ	10	1,0	-	5	0,1	30
HPL-10	10	1,0	2,5	5	0,1	50
ЛН-2.5Н1М	4	2-4	-	4	0,4	60
"Бистроник"	1.6	1.0	3.0	5-7	0.1	20

1.3 Лазерне наплавлення. Матеріали для лазерного наплавлення

Серед інших методів зміцнення лазерне наплавлення знаходить все більш широке застосування в промисловості і ремонтному виробництві. Процес лазерного наплавлення полягає в нанесенні на поверхню деталі наплавлювального матеріалу або подачі його безпосередньо в зону дії лазерного променя з подальшим оплавленням.

Слід зазначити, що існують граничні умови отримання міцного зчеплення наплавлювального шару з підкладкою: розплавлена ванна повинна мати температуру не нижче за температуру плавлення матеріалу основи.

Нанесення матеріалу може бути здійснено при використанні фізичних процесів (електролітичне осадження, газополум'яне і плазмове напилення) або у вигляді готової обмазки на основі склеювальної речовини (шлікера). Безпосередньо в зону дії лазерного променя матеріал, що наплавляється, може бути поданий у вигляді стрічки, дроту або порошку за допомогою транспортуючого газу. Не дивлячись на різноманітність запропонованих способів подачі матеріалу, в даний час найбільше розповсюдження одержує лазерне наплавлення з використанням порошкових матеріалів і нанесенням (подачею) їх на деталь або у вигляді обмазки, або подачею транспортуючого газу (газопорошкове лазерне наплавлення).

До технологічних переваг методу шлікерних обмазок слід віднести можливість нанесення матеріалу на необхідні (важкодоступні) локальні ділянки поверхні деталі, стабільний і рівномірний коефіцієнт поглинання лазерного випромінювання, порівняно легку підготовку деталі до наплавлення, яке полягає в очищенні (обезжиренні) деталі, нанесенні шлікера на зношену ділянку поверхні і оплавленні його лазерним випромінюванням. Економічну

ефективність цього методу визначає практично повне усунення втрат дорогих порошкових матеріалів. Разом з тим даний метод має ряд недоліків. Так, за один прохід лазерного променя висота наплавленого валика не може перевищувати 0,5...0,7 мм, а для отримання товстіших наплавлених шарів (1,8..2,7 мм) необхідно проводити повторне оплавлення шлікерних покриттів, що знижує продуктивність процесу. При наплавленні на робочі поверхні і значні площі, процес нанесення шлікерних обмазок також не продуктивний, бо достатньо складно витримувати їх однакову товщину.

Процес газопорошкового лазерного наплавлення набуває більше поширення на виробництві у зв'язку з високою продуктивністю. Для його реалізації створені лазерні системи необхідної потужності (до 3-5 кВт). Формування валу розплаву при цьому процесі відбувається шляхом поступового нарощування шару від основи до поверхні, тоді як при оплавленні порошкових паст (шлікерів) наплавлення йде від поверхні до основи.

До недоліків даного методу лазерного наплавлення слід віднести значні втрати порошоків, складність наплавлення невеликих локальних поверхонь на деталях з місцевим спрацюванням, підвищене тріщиноутворення вживаних сплавів.

Досить технологічно променем лазера здійснюється переплавлення напилених шарів. Проте, не дивлячись на очевидні переваги в структурі і властивостях шарів, одержуваних при лазерному переплавленні (відсутність пор, висока однорідна мікротвердість покриття, висока міцність зчеплення з основою тощо), необхідність застосування попередньої технології нанесення порошку (напилення) в цілому значно ускладнює обробку реальних деталей.

Встановлені витрати питомої енергії при наплавленні валу заввишки $1 \cdot 10^{-3}$ м для ГПЛН - $(30 \dots 50) \cdot 10^6$ Дж/м², для шлікера - $(60 \dots 90) \cdot 10^6$ Дж/м², а для напиленого плазмового шару - $(180 \dots 330) \cdot 10^6$ Дж/м².

Для отримання покриттів з високими експлуатаційними характеристиками бажано застосовувати матеріали, що мають заданий хімічний склад. Аналіз застосування матеріалів показує, що при лазерному наплавленні

використовують порошкові матеріали, що мають однаковий гранулометричний склад, форма частинок яких забезпечує добру сипучість порошку. При лазерному наплавленні істотне значення має технологічність процесу, не дефіцитність сировини і низька вартість порошоків. У зв'язку з цим важливо провести аналіз порошоків, що випускаються для газотермічного напилення, з метою встановлення можливості їх застосування при лазерному наплавленні.

З 110 типів порошоків, що випускаються, до металів відноситься 7, до сплавів - 35, до оксидів - 12, до механічних сумішей - 29. Розширення переліку порошоків для газотермічного напилення відбувається в основному за рахунок розробки нових типів сплавів, композиційних порошоків і механічних сумішей.

Залежно від гранулометричного складу порошки, виготовляють наступних класів: крупний (К), середній (С), дрібний (М) і дуже дрібний (ОМ).

Найпоширенішими порошковими матеріалами, що випускаються вітчизняною промисловістю серійно, є сплави системи нікель-хром-кремній-бор. Це спеціальні сплави гомогенних властивостей, що містять флюси, для розчинення оксидів. З них одержують тонкодисперсний порошок сфероїдальної форми, який володіє доброю текучістю. Останнє дозволило стабілізувати процес наплавлення, підвищити коефіцієнт використання матеріалу, поліпшити якість наплавленого шару.

Вказані сплави мають не точку, а інтервал плавлення ($950-1150^{\circ}\text{C}$), що зумовлює формування шару в заданих об'ємах, добра змочуваність забезпечує дифузний стан зчеплення шару з основою, з межею міцності на відрив вище 50 кг/мм^2 . Твердість одержаних покриттів досягає від 25 до 62 HRC.

Іншим видом спеціалізованих матеріалів, що випускаються, для газотермічного напилення є порошки нікель-алюмінієвих (ПН701080, ПН851015), нікель-титанових (ПН55145, ПТ88Н12) і титан-алюмінієвих сплавів (ПТ651035).

До числа композиційних порошоків, технологія виробництва яких освоєна, відносяться алюмінієві порошки з нікелевою оболонкою. Плакування здійснюється контактним методом (НА-67) або розкладанням карбоніда (ПНА-

75, ПНА-67, ПНА-95). Порошки використовуються для отримання проміжного шару жаростійкого покриття, а також як відновлюючі механічні суміші. Легування нікелевої оболонки вольфрамом, кобальтом, хромом, молібденом і титаном підвищує термостійкість і ерозійну стійкість покриттів [4].

Всі розглянуті види матеріалів використовуються як самостійно, так і можуть бути об'єднані в подвійні і складніші суміші. Найбільш часто сполучають тверді, зносостійкі, але крихкі компоненти з більш пластичними металами, що формують матрицю покриття. Типовими для цього варіанту є суміші карбіду вольфраму з нікелевим сплавом (ВСНГН-35, ПС-10НВК-01, ПС-12НВК-01), що самофлюсується, карбіду хрому з ніхромом або іншим жаростійким сплавом. В другому типі механічних сумішей як компонент присутні екзотермічно регулюючі композиційні порошки (типу нікель-алюміній). Їх введення покращує міцність зчеплення як покриття з підкладкою, так і частинок в об'ємі покриття між собою (когезійну міцність покриття).

Крім вищезгаданих порошків також випускаються порошкові сплави, що самофлюсуються: ПГ-АН3, ПГ-АН4, ПГ-АН6, ПГ-АН8 (ТУ ІЕЗ 316-81) з підвищеним вмістом хрому (до 32%) і обмеженими домішками заліза (до 3,0%), а також сплави типу: НПЧ-1, ПНЧ-2, НПЧ-3 (ТУ48-1940-73), ПГ-10Н-03, ПГ-10Н-04 (ТУ 48-4206-156-82), які не мають в своєму складі хрому і не допускають домішки заліза.

Торезький завод наплавлювальних твердих сплавів приступив до виробництва нової гамми самофлюсуючихся сплавів, що володіють високими технологічними властивостями, як в процесі напилення, так і на зміцненій або відновленій поверхні деталі. Це новий клас термореагуючих матеріалів для напилення на базі металооксидних гранульованих плакированих порошків. В процесі напилення їх, використовується тепловий ефект реакції відновлення.

Проте всі ці порошки відносяться до числа дорогих і, крім того, при наплавленні деталей шаром більше 2,4 мм застосування хромбромнікелевих порошків призводить до виникнення тріщин.

Певний інтерес для використання в технології лазерного наплавлення

представляють порошкоподібні наплавлювальні суміші УС-25, КБХ, ФБХ6-2 [5].

Застосування таких наплавлювальних сумішей дозволяє підвищити твердість покриттів до HRC 55, зносостійкість в 3...7 разів. Необхідно відзначити і те, що ці порошкоподібні наплавлювальні суміші мають знижену здатність до самофлюсування.

З наплавлювальних твердих сплавів відомі стеліти і сормайти. Проте, ці сплави мають високою крихкістю, у зв'язку з чим їх застосування для динамічно навантажених деталей недоцільно.

Найбільшу перспективність для отримання високоякісних, дешевих зносостійких покриттів мають порошки з Fe-Cr-B-Si сплавів, робота над створенням і вдосконаленням яких в даний час інтенсивно проводиться як на Україні, так і за кордоном.

В США випускають порошки C290, C395 і C495, призначені для нанесення покриттів на поверхні підшипників. Покриття з них мають достатньо високу стійкість до абразивного зношування, зношуванню стиранням і корозії, але, як правило, зниженим опором ударним навантаженням. В Німеччині випускають гранульовані - порошки Fe-Cr-C-B-Si сплаву марки MPA550 або MPA ZIS550 (тип 400X40P2C), призначені для покриттів на деталях, що працюють в умовах інтенсивного абразивного зношування (направляючі ролики тракторів і ін.). При цьому покриття мають твердість HRC 60-65 і дуже високу зносостійкість, але знижений опір ударам і підвищену схильність до утворення тріщин.

Проведений літературний аналіз показує, що використання лазерного випромінювання для здійснення процесу наплавлення доцільно і технологічно вигідно. В даний час, існує ряд проблем технологічного плану, рішення яких дозволило б вирішити багато питань підвищення надійності і довговічності, як нових деталей сільськогосподарської техніки, автомобілів, тракторів, так і відновлення ресурсу зношених деталей лазерним наплавленням.

1.4 Застосування лазерного наплавлення для зміцнення і відновлення деталей машин

В промисловості відоме застосування лазерного наплавлення нікелевими порошками, що самофлюсуються, при відновленні великомодульних шестерень гірничошахтного устаткування, деталей гідроапаратури.

В Кокчетавському ПО "Ремсельмаш" була розроблена технологія лазерного наплавлення зношених розподільних валів автомобілів "Жигулі". Використовувалася лазерна установка "Кардамон" потужність лазерного випромінювання 0,8 кВт. Технологія відновлення передбачала нанесення шлікерної обмазки з порошку на нікелевій основі ПГ-ХН80СР4 на целюлозному клеї. Твердість поверхні після лазерної обробки складала HRC_э55. Ресурс відновлених валів був на рівні 90% нових.

Відоме застосування лазерного наплавлення для відновлення і зміцнення деталей нафтоперекачувальних насосів. В якості шлікера використовувалася порошкова суміш ПГ-СР4 (50%) і ПГ-С1 (50%) на цапонлаці. Режими обробки: потужність випромінювання 750 Вт, діаметр променя 3 мм, швидкість обробки 0,24 м/хв. В результаті експлуатаційних випробувань насосів було встановлено підвищення абразивної зносостійкості деталей в 2,1 рази, а корозійної стійкості в 1,3 рази в порівнянні з газопорошковим напиленням покриттів з порошку ПГ-СР4 пальниками, що працюють на ацетиленокисневій суміші.

Лазерне газопорошкове наплавлення знаходить своє застосування з використанням лазерних потужностей $P=3,2...5$ кВт. Відоме отримання поверхневих покриттів з порошку ПГ-СР3 при лазерному оплавленні в режимах: потужність випромінювання 1,5 кВт, швидкість наплавлення 4,5... 15 мм/с, фокусна відстань оптичної системи 350...360 мм, діаметр лазерного променя 2,5 мм. Як транспортуючий газ застосовували азот. Отримані покриття мали схильність до розтріскування і тріщиноутворення. Для зменшення цього в хром-бор-нікелеві сплави вводили феросплави в кількості 3% (масової частки). Дану технологію застосовували для відновлення і зміцнення робочих фасок клапанів двигунів ЗІЛ.

Розроблена і упроваджена промислова технологія лазерного наплавлення

таких відновлюваних деталей, як шарові пальці рульової трапеції тролейбусів ДАК-217Е, валів компресорів ТУ №305/Т. Також відоме відновлення різьблення авіаційних болтів методом лазерного наплавлення. Як наплавлювальний матеріал використовували порошок ПНЧ-3Л наступного хімічного складу, що самофлюсується: бір -0,45%, вуглець - 2,5%, хром - 2,5%, кремній - 1,3%, мідь - 3,2%, залізо -27 1,0%, марганець - 0,4%, нікель - основа. Наплавлення проводили в два проходи при наступних режимах: потужність лазерного випромінювання 2..2,3 кВт, витрата наплавлювального порошку 0,24 г/с, швидкість наплавлення 30...40 мм/с, діаметр плями лазерного променя 2,5... 3,0 мм. Наплавлення порошкового сплаву ПНЧ-3Л проводилося на пошкоджене різьблення деталі із сталі 20Х4. Результати експлуатаційних випробувань підтвердили, що їх ресурс відповідає ресурсу нового авіаційного болта.

Відоме відновлення бронзових частин струмопровідних штоків, що обертаються, і труться, способом лазерного порошкового наплавлення з подальшим чистовим шліфуванням. Наплавлення виконували в два проходи. Перший шар виконували з малою висотою (до 0,2 мм на сторону), для чого зменшували подачу наплавлювального порошку ПГ-АН9 (ТУ ІЕЗ 374-83), що самофлюсується, до 0,12...0,25 г/с при високій потужності лазерного випромінювання (4,0...4,5 кВт). Подальші шари наплавляли із збільшеною масовою витратою порошку (0,25...0,50 г/с) на тій же потужності. Процес проводили при високих швидкостях подачі лазерного променя - 30..50 мм/с. При цьому були досягнуті потрібні якість і міцність зчеплення. Дефекти у вигляді короблень були відсутні. Термін служби деталей підвищився в 1,5..2раза.

Окрім лазерного порошкового наплавлення відоме застосування лазерного випромінювання в промисловості для оплавлення порошкових покриттів, нанесених за допомогою плазмової дуги, газопорошкових пальників.

Відомі дослідження по лазерному оплавленню плазмових напилених покриттів. Плазмове напилення здійснювали на установці УМП-5 порошком, що самофлюсується, на нікелевій основі ПГ-ХН80СР-2. Товщина напиленого шару складала 1 мм, пористість 8... 30%. Лазерне оплавлення проводили в

режимах: потужність випромінювання 2...3,5 кВт, діаметр сфокусованого випромінювання 0,5... 1,6 мм Після лазерного оплавлення встановлено, що структура оплавлених шарів характеризується надзвичайною дисперсністю, відсутністю оксидних включень. В оплавленому об'ємі металу пори практично були відсутні.

Застосування лазерного випромінювання 2..2,5 кВт для оплавлення плазмових порошкових покриттів ВК-20 на деталях із сталі ШХ15 сприяло зменшенню пористості, усуненню тріщин і інших дефектів кристалізації, підвищенню міцності зчеплення шару, що наноситься.

Відоме застосування лазерного оплавлення порошкових сплавів, що самофлюсуються, на нікелевій основі, нанесених методом газопорошкового напилення (ГПН) на відновлювані деталі. Ресурс відновлених деталей збільшився в 3...5 раз, в порівнянні із новими виготовленими деталями без покриття.

Метод лазерного оплавлення газопорошкових покриттів застосовували для відновлення деталей нафтового устаткування. Як напилюваний матеріал використовували порошки типу ПГ-СР3, ПГ-СР4. Оплавлення проводили лазером ЛГН-702, потужністю лазерного випромінювання 0,8 кВт, діаметром лазерного променя 3 мм Структура поверхневих шарів покриттів після лазерного опромінювання при оплавленні зберігає малодисперсну будову з рівномірним розподілом кристалів зміцнюючих фаз в перенасиченому розчині на основі нікелю. Ресурс відновлених деталей підвищився в 3...3,7 рази порівняно з методом ГПН без лазерного оплавлення.

Аналіз літературних джерел показав, що лазерне оплавлення напилених покриттів значно покращує якість робочих поверхонь, підвищує ресурсні показники деталей, відкриває широкі можливості для конструювання композиційних покриттів. Але разом з цим, використання лазерного оплавлення нанесених порошкових покриттів вельми ускладнює технологію виробництва відновлення деталей і підвищує їх вартість, що у ряді випадків може обмежувати застосування методів при зміцненні і відновленні деталей сільськогосподарської техніки.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВІДНОВЛЕННЯ І ЗМІЦНЕННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ЛАЗЕРНИМ НАПЛАВЛЕННЯМ

2.1 Теоретичні основи зміцнення робочих поверхонь, відновлюваних лазерним розплавленням шлікерних обмазок.

Одним з прийнятних способів нанесення порошкових матеріалів на поверхню деталі при лазерному наплавленні може бути шлікерне покриття. Шлікерне покриття є суміш-композит, що складається з порошкового матеріалу і рідкого клею. Завдяки останньому порошкова суміш утримується на поверхні деталі і при дії концентрованого джерела енергії відбувається її оплавлення.

Для визначення технологічних параметрів протікання процесу лазерного наплавлення шлікерних покриттів була запропонована наступна теплофізична модель процесу [5]: на поверхні в зоні дії променя утворюється лунка рідкої фази, яка переміщається разом з густиною потужності лазерного променя на поверхні матеріалу.

На рисунку 2.1 схематично представлена прийнята система координат, топографія лунки рідкої фази і поля температур в твердій фазі.

Аналітично проаналізувавши і дослідивши дану модель було встановлено, що топографія температурного поля, швидкість охолодження матеріалу, ширина і глибина області розплаву визначається співвідношенням, яке виступає як технологічний параметр лазерного наплавлення: $\frac{P}{V}$

де, P – потужність лазера, що поглинається матеріалом, кВт;

V – швидкість переміщення деталі, м/хв.

Також було отримано залежність для: оцінки полів температур:

$$T(r, z) = \frac{P}{2\pi\lambda r} \exp\left(-\frac{V(r + \chi)}{2k}\right)$$

де, λ - теплопровідність, Вт/(м·К);

k - температуропровідність;

r - розмір поверхні рідинної фази;

χ - координата точки.

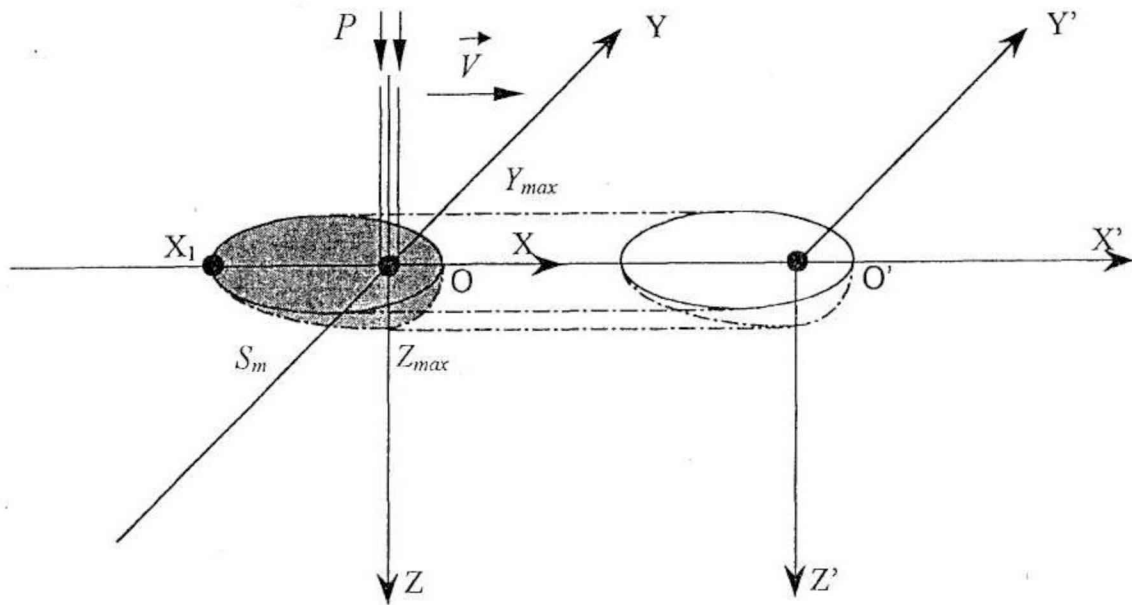


Рисунок 2.1- Схема лазерного наплавлення шлікерного покриття.
 X, Y, Z - система координат зв'язана з променем (тепловим джерелом);
 X', Y', Z' - система координат зв'язана з матеріалом.

2.2 Теоретичний аналіз процесу подачі порошкових сумішей в зону лазерного наплавлення

Проведення процесу лазерного наплавлення порошкових сумішей вимагає надійного введення частинок порошків в зону плавлення. Це можна здійснити одним з найбільш технологічних способів - транспортування порошкової суміші струменем газу (рис. 2.2). Надійна подача порошкових сумішей в зону плавлення і управління цим процесом залежить від напрямку і швидкості транспортуючого газу, - визначаючого траєкторію руху порошкових сумішей в зоні плавлення, а також від газодинамічних характеристик струменя пари основного металу (лазерного факела), дія яких приводить до відхилення частинок від заданого напрямку.

Потік транспортуючого газу задає частинкам порошку прямолінійну траєкторію, що забезпечує перехід максимальної кількості порошкової суміші в розплавлений метал зварювальної ванни. Проте під тиском струменя пари основного металу (факела), звичайно спрямованого нормально до поверхні зварювальної ванни, відбувається зміна напрямку руху частинок присадок, що

утрудняє управління процесом транспортування порошкової суміші і призводить до зниження продуктивності і якості поверхні, що наплавляється.

Практика примусового введення порошкової суміші в зону плавлення показує, що при лазерному наплавленні основним чинником, перешкоджаючим переходу порошку в зварювальну ванну, є струмінь пари основного металу (факела), що формується над розплавом. В результаті механічної взаємодії частинок присадок з факелом відбувається відхилення їх від заданого напрямку руху, що знижує кількість порошкових сумішей, що поступають у ванну.

Відомо, що динаміка руху твердих тіл в струмені будь-якого газу залежить від швидкості і властивостей газу, а також від швидкості, розмірів, ваги і форми тіла, і інших чинників. Для визначення основних чинників, які впливають на рух частинок в зоні плавлення, було розглянуто взаємодію частинок із струменем пари основного металу (лазерним факелом).

На підставі механічної моделі процесу була проведена оцінка подачі порошкових сумішей в зону лазерного наплавлення і отримано формулу для визначення часу взаємодії порошкової суміші з лазерним факелом:

$$\tau = \frac{d \cdot \cos \delta}{V_{0q} \cdot \sin(\alpha_0 + \delta)}$$

де, d - діаметр ванни, мм.;

V_{0q} - початкова швидкість частинки, м/хв.;

α_0 - кут між вертикаллю і початковим напрямком руху частинки;

δ - кут між вертикаллю і напрямком дії лазерного факела.

А також отримана залежність координат знаходження порошку в зоні дії лазерного променя від швидкості транспортуючого газу і кута нахилу сопла:

$$X_{(\tau)} = \frac{H \cdot \sin \delta \cdot \sin \alpha}{\sin(\alpha_0 + \delta)} + V_{0q} \cdot \sin \alpha_0 \cdot \tau - \sin \delta \cdot \tau - \sin \delta \cdot \frac{4}{3} \cdot \frac{d_u \rho_u}{C_X \rho_1} \times \\ \times \ln \left[\frac{3}{4} \cdot \frac{C_X}{d_u} \cdot \frac{\rho_1}{\rho_u} \cdot (V_1 + V_{u0} \cdot \cos(\alpha_0 + \delta)) \cdot \tau + 1 \right] + \\ + \sin \delta \cdot (V_1 + V_{u0} \cdot \cos(\alpha_0 + \delta)) \cdot \tau + 1$$

$$Z_{(\tau)} = \frac{H \cdot \sin \delta \cdot \cos \alpha}{\sin(\alpha_0 + \delta)} + V_{u0} \cdot \cos \alpha_0 \cdot \tau - \cos \delta \cdot \frac{4}{3} \cdot \frac{d_u \rho_u}{C_X \rho_1} \times$$

$$\times \ln \left[\frac{3}{4} \cdot \frac{C_X}{d_u} \cdot \frac{\rho_1}{\rho_u} \cdot (V_1 + V_{u0} \cdot \cos(\alpha_0 + \delta)) \cdot \tau + 1 \right] +$$

$$+ \cos \delta \cdot (V_1 + V_{u0} \cdot \cos(\alpha_0 + \delta)) \cdot \tau + 1$$

ПОТІК ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

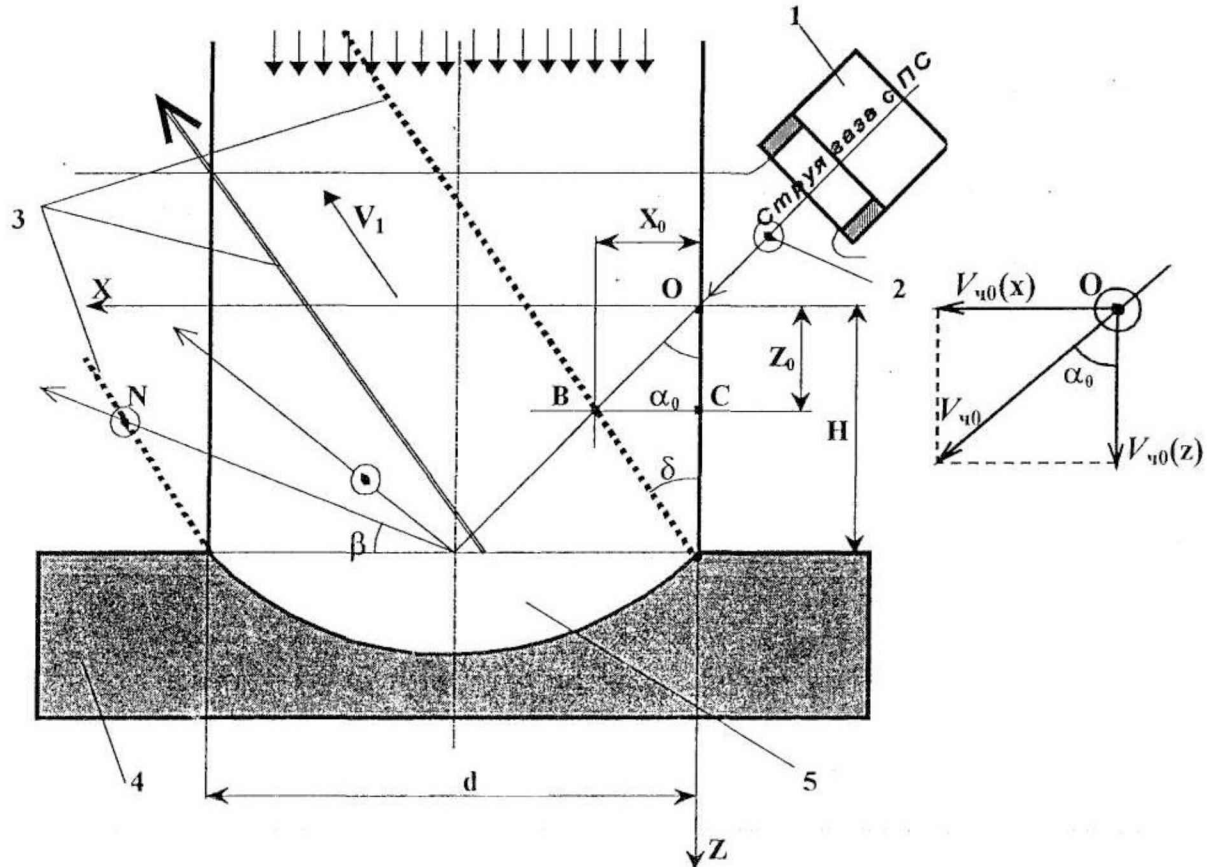


Рисунок 2.2 - Схема взаємодії частинок порошкової суміші з факелом

- 1 сопло, формуюче газопорошковий потік;
- 2 частинка порошкової суміші;
- 3 струмінь парів основного металу;
- 4 основний метал;
- 5 зварочна ванна

де, H - рівень, на якому знаходиться поверхня ванни, мм;

V_1 - швидкість руху парів в лазерному факелі, м/с;

C_X - коефіцієнт лобового опору частинки;

ρ_u - густина матеріалу частинки, кг/м³;

ρ_1 - густина парів основного матеріалу, кг/м³;

d_u - діаметр частинки, мм

2.3 Вибір і розрахунок технологічних параметрів лазерної наплавки

Для процесу лазерного наплавлення одним з основних енергетичних параметрів, що визначають технологічність процесу, є необхідна густина потужності випромінювання q_H :

$$q_H = 2\pi\lambda T_m Z_{max},$$

де λ - коефіцієнт теплопровідності основного металу, Вт/К-м;

T_m - температура плавлення металу, К;

Z_{max} - максимальна глибина проплавлення, м.

Якщо ефективну теплову потужність Q_H пов'язати з потужністю випромінювання P , то можна отримати наступний вираз:

$$Q_H = \eta_{эф} P_o$$

де, $\eta_{эф}$ - термічний ККД наплавлення;

P_o - потужність лазерного випромінювання, Вт

Для лазерної обробки, пов'язаної з розплавленням, металів термічний ККД є відношенням теплоти, необхідної проплавлення, до всієї теплоти, введеної у виріб:

$$\eta_{эф} = \frac{V \cdot F_{np} \cdot S_{nl}}{P_o}$$

де, V - швидкість лазерного наплавлення, м/с;

F_{np} - площа поперечного перетину проплавленої зони металу, мм².

S_{nl} - питома об'ємна тепломісткість розплавленого металу, включаючи приховану теплоту плавлення, Дж/м³.

Враховуючи, що густина потужності є комбінований показник, залежний від співвідношення потужності лазерної установки (P) діаметра (d) лазерного пучка на фокусувальній оптиці, маємо:

$$q_t = \frac{4PK_H}{\pi d^2},$$

де K_H - коефіцієнт, що характеризує процес лазерної наплавки.

В загальному випадку K_H визначається через продуктивність процесу G_H :

$$K_H = \frac{G_H}{P},$$

де P - робоча потужність випромінювання, Вт.

Зв'язуючи q_H зі швидкістю лазерної дії, одержуємо технологічний показник процесу лазерного наплавлення – питому енергію наплавлення E_H

$$E_H = \frac{\pi q d K_H}{2V_H} = \frac{PK_H}{V_H d}.$$

Висоту наплавленого валу, з урахуванням введеної кількості тепла, можна визначити з виразу:

$$h_H = \frac{P_o \cdot n_{эф}}{V \cdot \rho \cdot m_{пл} \cdot B},$$

де, P_o - ефективна потужність променя, Вт;

ρ - густина основного металу, кг/м³;

$m_{пл}$ - тепломісткість основного металу, Дж/кг;

B - ширина валику, що наплавляється, м

3. ОБГРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПРОЦЕС НАПЛАВКИ

3.1 Лазерне устаткування для проведення наплавлення

Лазерне наплавлення деталей виконується на лазерному технологічному комплексі (ЛТК), який включає лазерну установку з необхідними системами забезпечення: оптичний блок, технологічний модуль.

Функціональна блок-схема ЛТК приведена на рис. 3.1.

В лазерній установці застосовували лазер "Комета 2" потужністю випромінювання до 2,5 кВт. Цей лазер володіє більш простою конструкцією, кращою стабільністю параметрів в часі, а також великим технічним ресурсом (до 5000год.). Модулятор блоку живлення забезпечує роботу лазера в моноімпульсному, імпульсному і безперервному режимах. Для більшого підвищення потужності випромінювання газорозрядні камери зібрані з 30 трубок невеликого діаметра зі збудженням газової суміші електричним розрядом постійного або змінного струму.

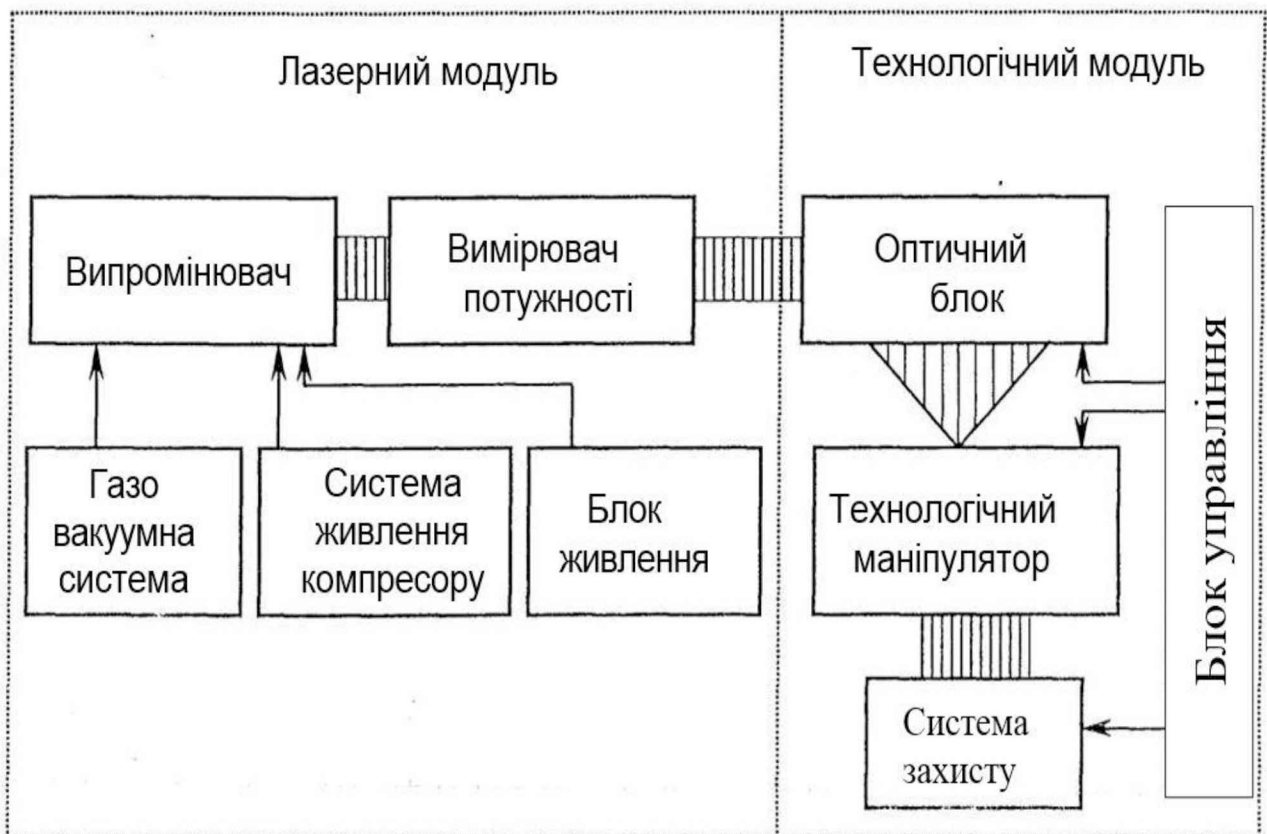


Рисунок 3.1 - Функціональна блок-схема ЛТК

Наповнення випромінювачів газовою сумішшю проводиться за допомогою газовакуумної системи (ГВС). Вона складається з систем відкачування і напуску газової суміші, має автоматичне і ручне управління. Для транспортування лазерного променя до поверхні деталі, його перетворення на оптичних елементах (поворот променя, фокусування), регулювання процесом лазерної обробки використовується оптична система, що складається із заслінки відсікача, лінзи з КС1 з фокусною відстанню $P=500$ мм, мідного дзеркала на інварній основі.

Технологічний модуль складався з верстата-маніпулятора з необхідним діапазоном швидкостей обертання шпинделя і подачею оптичного блоку.

Контроль за забезпеченням параметрів лазерної обробки виконується за допомогою приладу ТИ-4 - вимірника потужності лазерного випромінювання. Його характеристики: межі вимірювань потужності - до 5 кВт, розрахункова довжина хвиль лазерного випромінювання - 0,4...11,0 мкм, приймач випромінювання є охолоджуваним конусом. Прилад оснащується гальванічним мікровольтметром, відрегульованим на пряме вимірювання потужності (Вт) . Зміну діаметра плями лазерного випромінювання проводиться лінійним переміщенням лінзи щодо дзеркала і деталі в межах фокусної відстані. Для контролю розмірів плями використовується біноклярний стереоскопічний мікроскоп МБС-2 з діапазоном збільшень $\times 3,5..88$ і фокусною відстанню 160 мм.

3.2 Оптимізація режимів нанесення лазерного покриття

Більшість відповідальних деталей сільськогосподарської техніки виготовляється з якісних вуглецевих сталей і високоміцних чавунів. Виходячи з цього, даліше розглянемо вплив параметрів технологічного процесу лазерного наплавлення і характеристику поверхонь відновлених, і зміцнених лазерним наплавленням на зразках із сталі 45, 40Х, ШХ15, високоміцного чавуну ВЧ 50 [6].

3.2.1 Оцінка температурних полів при лазерній обробці.

Важливим чинником, що визначає стан поверхні деталі при лазерному наплавленні, є температура і її розподіл по зміцнюваній поверхні. Характер розподілу температури істотно впливає на фізико-механічні властивості шарів, що наплавляються, і відповідно, на якість відновлених деталей.

Оцінка температурної дії на металеві поверхні при обробці лазерним променем є одним з факторів, що дозволяє виявити умови проведення наплавлення, сприяє пошуку зони оптимальної технології лазерної обробки.

Результати дослідів розподілу температурного поля лазерного випромінювання (ЛВ) по глибині для сталевих і чавунних зразків представлені на рис. 3.2. Залежність нагріву сталевих і чавунних поверхонь від швидкості обробки і діаметра лазерного променя відображена на рис. 3.3 (а) і (б) відповідно.

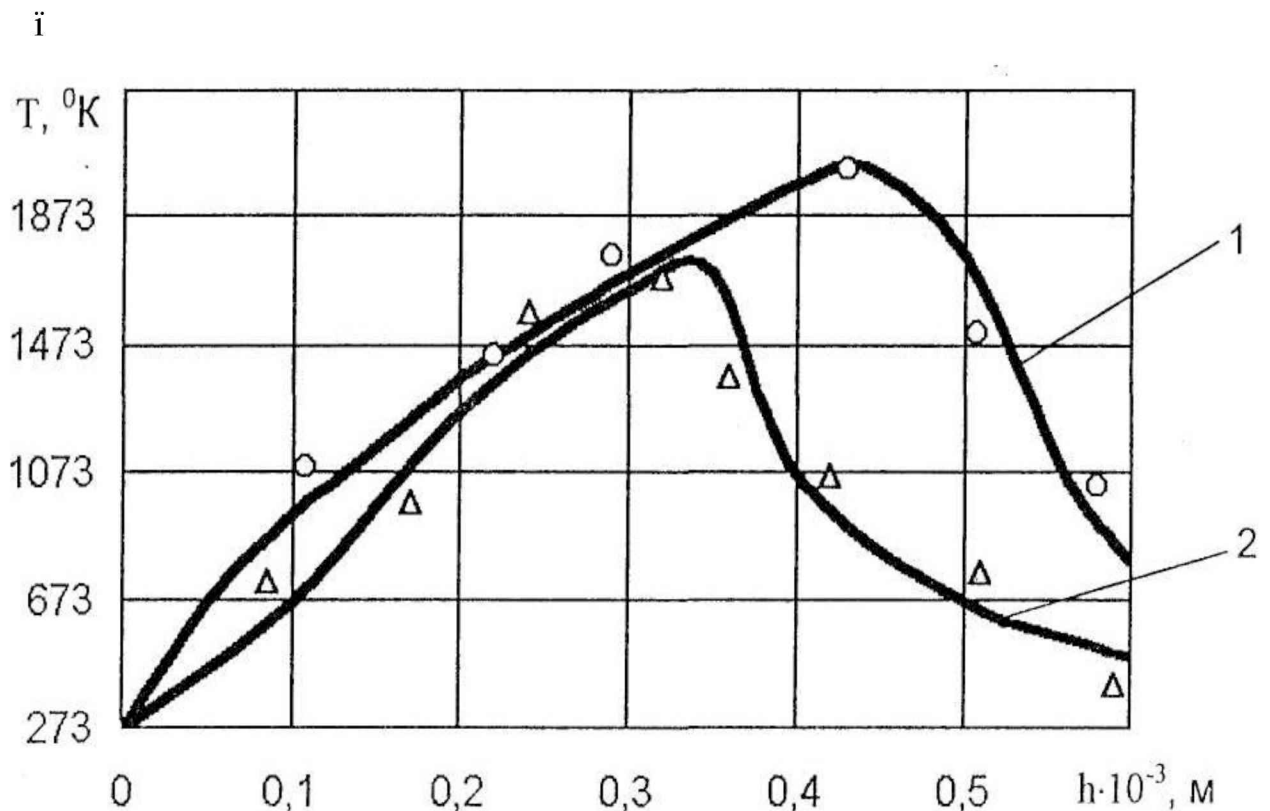
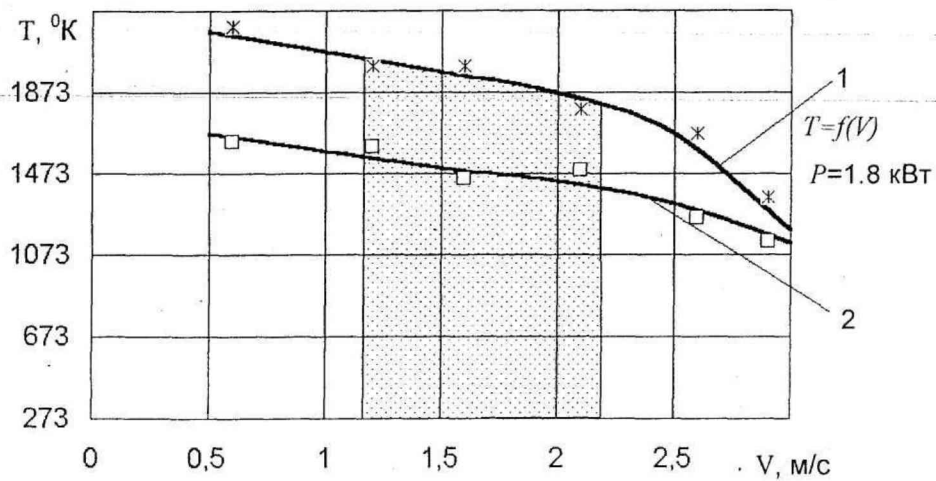
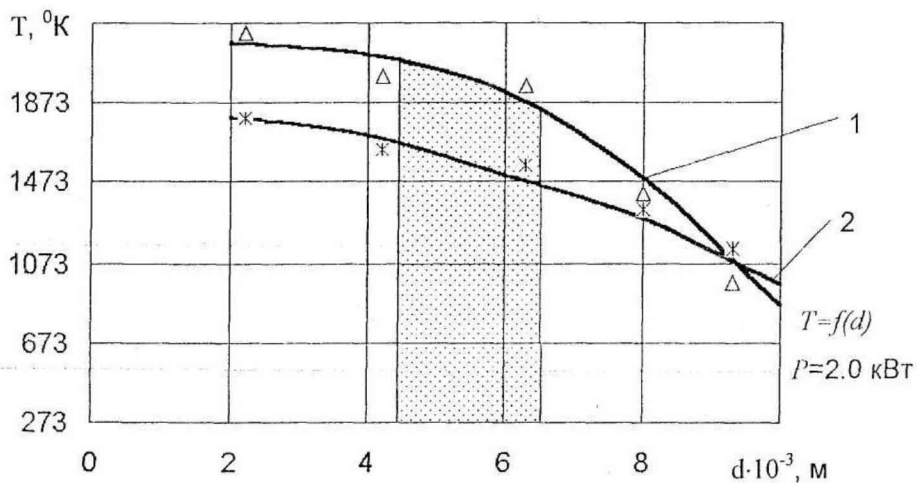


Рисунок 3.2 - Розподіл температурного поля ЛВ по глибині сталевих (1) і чавунних (2) зразків ($P=1,8 \text{ кВт}$, $V=2,5 \text{ м/с}$)



а)



б)


 - зона квазіоптимальних режимів лазерної обробки.

Рисунок 3.3 - Залежність нагріву поверхні сталевих - сталь 45 (1) і чавунних - ВЧ-50 (2) зразків від швидкості переміщення V (а) і діаметра випромінювання d (б)

Аналіз температурного поля показує, що є тенденція до утворення ядра розплаву на деякій глибині, що пов'язано з явищем акумуляції теплоти в приповерхневому шарі. Для чавунного зразка наростання моменту утворення зони розплаву більш круте, що можна пояснити теплофізичними характеристиками цього матеріалу.

Аналіз залежностей представлених на рис. 3.3 свідчить про існування області квазіоптимальних режимів лазерної обробки, при яких реалізується процес оплавлення покриття.

3.2.2 Результати аналізу процесу подачі частинок ПС в зону лазерного наплавлення

Для забезпечення найбільш ефективного використання порошкових сумішей, і зменшення втрат дорогих порошкових сумішей, необхідно визначити оптимальні значення параметрів що впливають на траєкторію руху частинок порошкової суміші в зоні плавлення. А саме, залежність кута вильоту частинок порошку від швидкості руху порошкової суміші.

На рис. 3.4 відображено залежність кута вильоту частинок порошкової суміші з факела від їх початкової швидкості. Експериментальна крива отримана внаслідок проведення дослідів. А розрахункова побудована внаслідок аналітичних розрахунків.

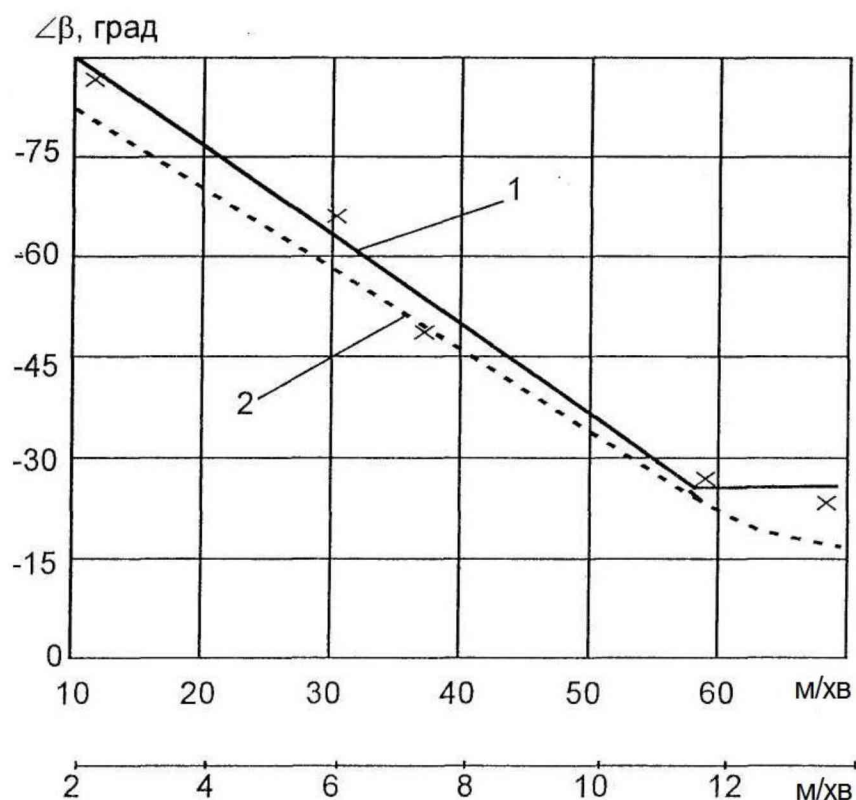


Рисунок 3.4 – Залежність кута вильоту частинок ПС з факела від їх початкової швидкості

Криві: 1 - експериментальна, 2 - розрахункова

3.2.3 Вибір матеріалів для лазерного наплавлення і оптимізація складу порошкових сумішей

Для лазерного наплавлення використовуються порошкові наплавлювальні сплави на нікелевій основі ПГ-Н70Х17С4Р4 ТУ 14-127-185-82,

на залізній основі ПГ-ФБХ6-2 ГОСТ 11546-75.

Для вищої якості наплавлення з даних порошків готуються порошкові суміші, до складу яких вводиться порошковий алюміній ПАД ТУ 48-01-82-71 для підвищення якості шарів, що наплавляються.

Аналіз результатів дослідження дозволяє відзначити, що найменша кількість утворення тріщин залежить від процентного вмісту порошку ПГ-ФБХ6-2, процентного вмісту порошку ПГ-Н70Х17С4Р4, швидкості обробки, процентного співвідношення порошку ПАД. Помітно впливають на тріщиноутворення подвійна взаємодія між процентним вмістом порошку алюмінію і швидкістю обробки.

Як показує практика, порошкова суміш для лазерного наплавлення оптимального складу містить ПГ-ФБХ6-2 - 68..73%, ПГ-Н70Х17С4Р4 - 25..30%, ПАД - решту.

Для проведення наплавлення використовується два способи нанесення порошку для наплавлення, на поверхню деталей.

Перший спосіб - нанесення шлікерної обмазки. Як зв'язуючий компонент при виготовленні обмазки можна застосовувати різні речовини (силікатний клей, рідке скло), але найбільш доцільно використовувати клей на целюлозній основі - карбоксиметилцелюлозу (КМЦ). Ця речовина вигоряє при температурі 300...400 °С і не впливає на хімічний склад шару, що наплавляється. Вона стійка до температури (не спучується) при нагріві деталі, добре наноситься на поверхню і значно покращує поглинаючу здатність обмазки. Клей КМЦ перед приготуванням розминається до невеликих зерен $(3...5) \cdot 10^3$ м і розбавляється гарячою водою в співвідношенні 1:10 за об'ємом. На знежирену поверхню деталі (валиком, тампоном) наноситься клей і здійснюється подача порошку з бункера (рис. 3.5). Можна наносити на поверхню деталі готову обмазку. В цьому випадку в готовий клей додається порошок і доводиться до необхідної в'язкості. Готову обмазку наносять на деталь пензлем або іншим пристосуванням. Обробку поверхні лазерним променем можна проводити як після нанесення обмазки (порошку), так і після просушування. На режими

обробки і якість шару це не впливає.

Як другий спосіб нанесення порошку застосовується газопорошкове вдування в зону лазерного променя порошковим живильником. Як газ використовується повітря, аргон, при тиску 0,05.,0,1МПа.

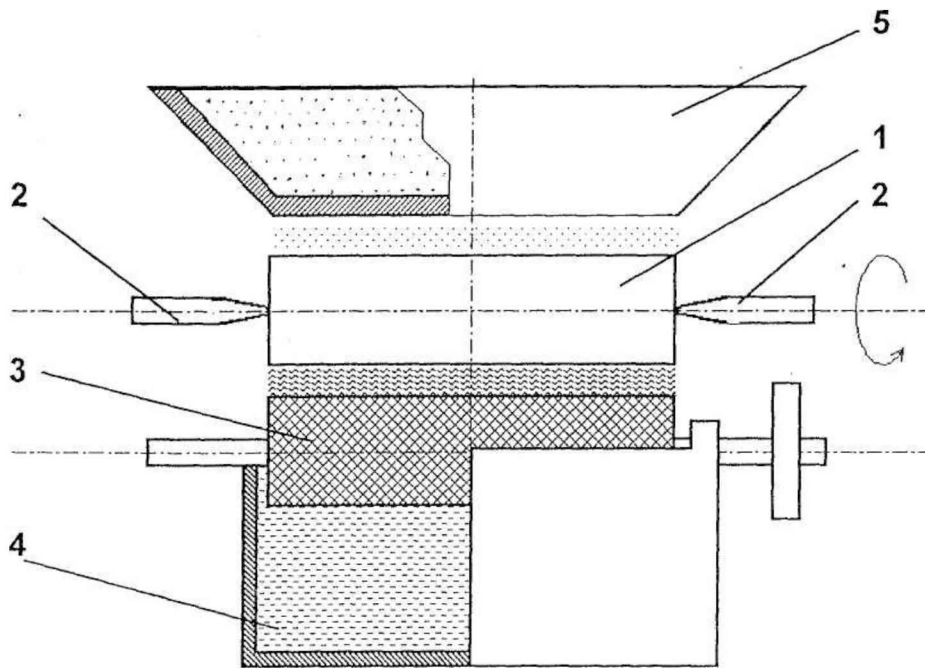


Рисунок 3.5 - Принципова схема нанесення шлікерної обмазки на відновлювану деталь 1 - відновлювальна деталь; 2 - центри; 3 – обмазувальний валик; 4 - ванна з мастилом; 5 - бункер з порошком

3.3 Характеристика складу і структури покриттів отриманих методом лазерної наплавки

Результати вивчення шліфів покриттів, отриманих при оплавленні порошків ПГ-Н70Х17С4Р4, показали, що з розплаву формується структура без пор, тріщин і раковин. Відсутність пор і раковин свідчить про добру рідинотекучість розплаву і позитивний вплив кремнію і бору на процес формування металу. Структура покриття характерна для металу, отриманого з рідкого стану. За даними мікроспектрального і рентгеноструктурного аналізу наплавленого порошку ПГ-Н70Х17С4Р4, що є сплавом системи Ni-Cr-B-Si (рис. 3.6) [7]. Основу шару складає твердий розчин нікелю (до 75%) з невеликим вмістом хрому і заліза (10-25 %).

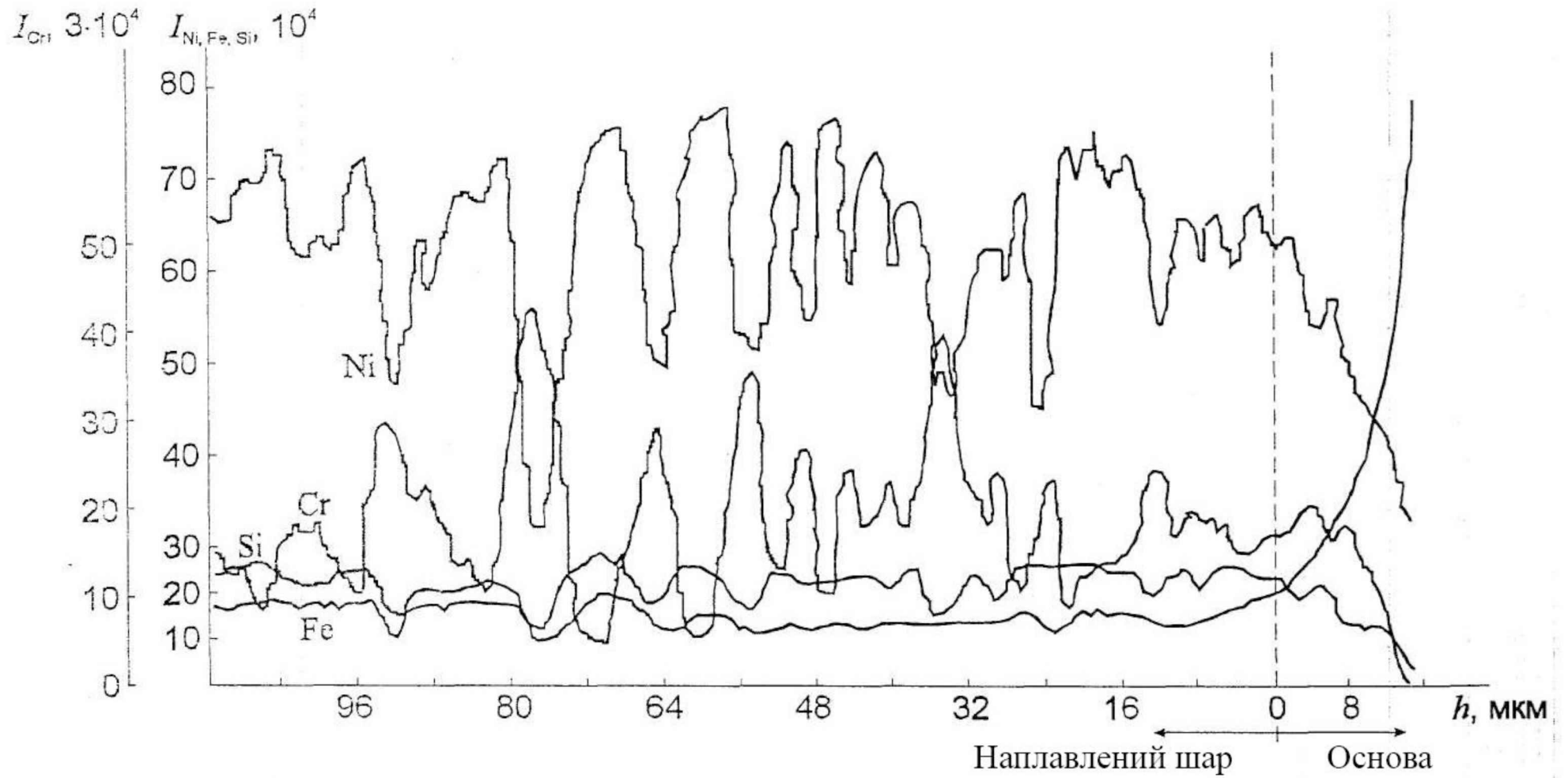


Рисунок 3.6 - Розподіл нікеля, хрому, заліза і кремнію по глибині порошку ПГ-Н70Х17С4Р4, наплавленого на сталь 45
($P=1250$ Вт, $d=5$ мм, $V=0,94$ м/с)

При великих швидкостях наплавлення формуються карбіди Cr_7C_3 , Cr_{23}C_6 , борид хрому Cr_3B_4 і інтерметаліди (нікалід хрому) Cr_2Ni . При низьких швидкостях наплавлення формується лита дендритная структура на основі нікелю з модифікацією його хромом і залізом. Твердість наплавлених шарів істотно залежить від швидкості наплавлення (рис. 3.7). Максимальна твердість - 7500 МПа була отримана при швидкостях наплавлення $V=1,3$ м/хв, мінімальна твердість - 3500 МПа (потужність випромінювання $P=1300$ Вт) при швидкостях наплавлення $V=0,9$ м/хв. Це, пояснюється впливом, який спричиняє розбавлення рідкої ванни матеріалом підкладки і особливостями формування тонкої структури покриття, при меншій швидкості наплавлення глибина розбавлення ванни залізом досягає 80 мкм із вмістом його до 50 %, тоді як глибина розбавлення при більшій швидкості наплавлення не перевищує 15 мкм.

Аналіз металографії наплавленого лазерним променем порошкового матеріалу ПГ-ФБХ6-2 показує, що в структурі покриття в значних кількостях виділяються сполучення, що мають вид шестигранників, голок і формувань достатньо правильних округлих форм. При цьому крупні кристали шестигранної форми мають численні дефекти. Відомо, що виділятися у вигляді голок і шестигранників можуть карбіди хрому. Формування округлої форми можуть належати бориду хрому. Рентгеноструктурний аналіз (рис. 3.8) показав наявність ліній карбідів хрому Cr_7C_3 , Cr_3C_6 , бориду CrB_2 , твердого розчину γ -Fe. Таким чином, за відсутності значного перегріву розплаву порошку формується γ -твердий розчин заліза, карбіди і борид хрому. Можна припустити, що твердість шару і її стабільність забезпечуються наявністю значних утворень карбідів. Твердість матриці досягає 7000 МПа, а круглих карбідів хрому 14000 МПа.

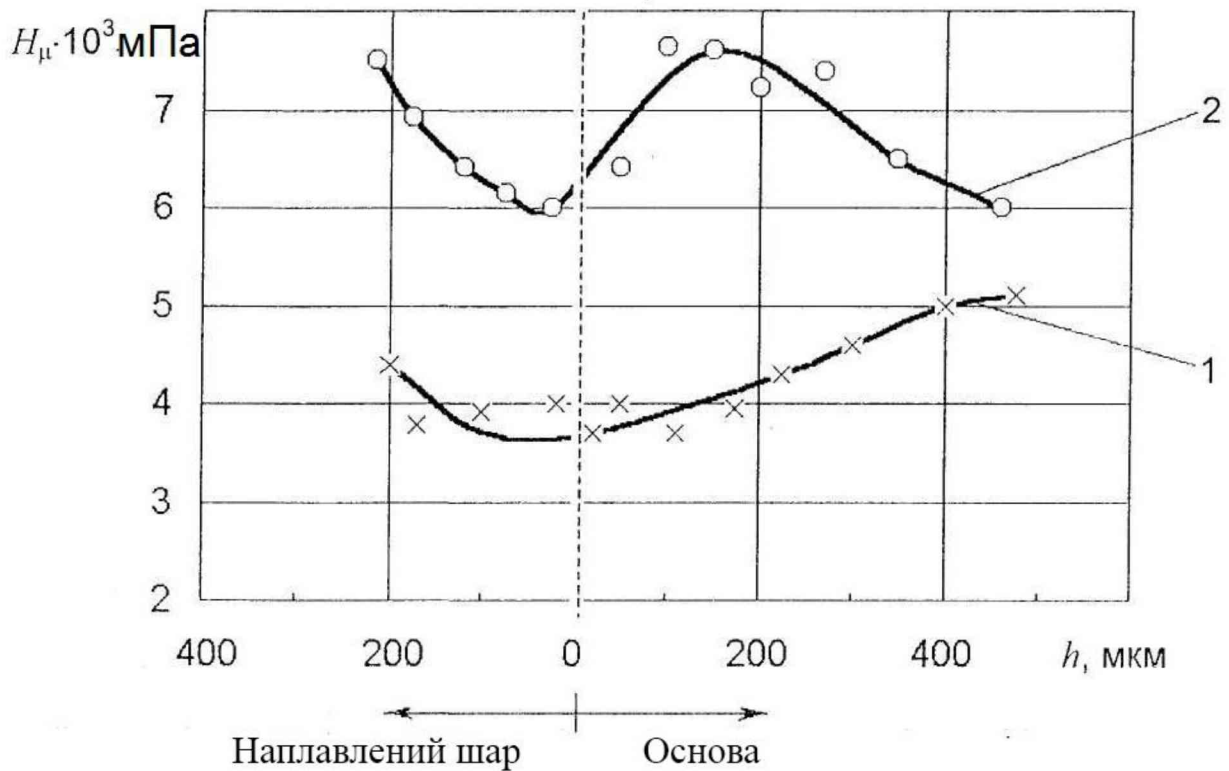
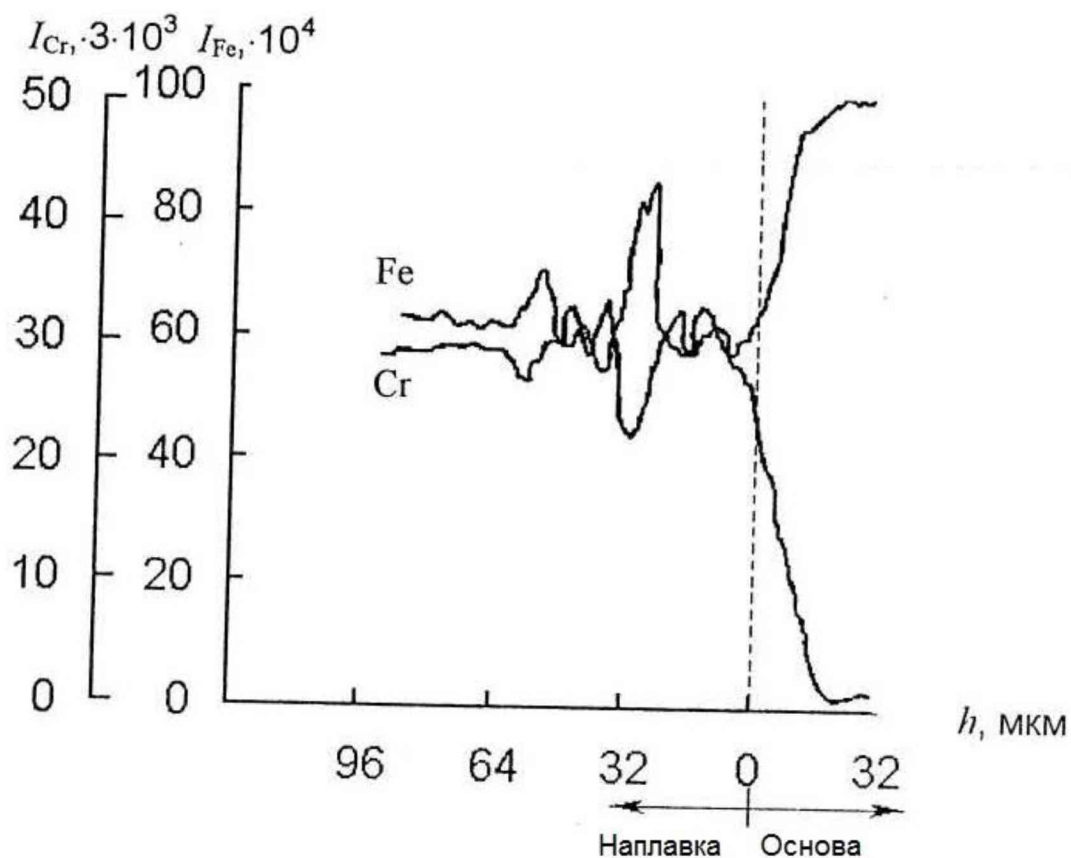


Рисунок 3.7 - Розподіл твердості по глибині наплавленого шару при наплавці порошку ПГ-Н70Х17С4Р4 на сталь 45 ($P=1300$ Вт; $d=5$ мм; $V=1.3$ м/с (1); $V=0,9$ м/с (2))

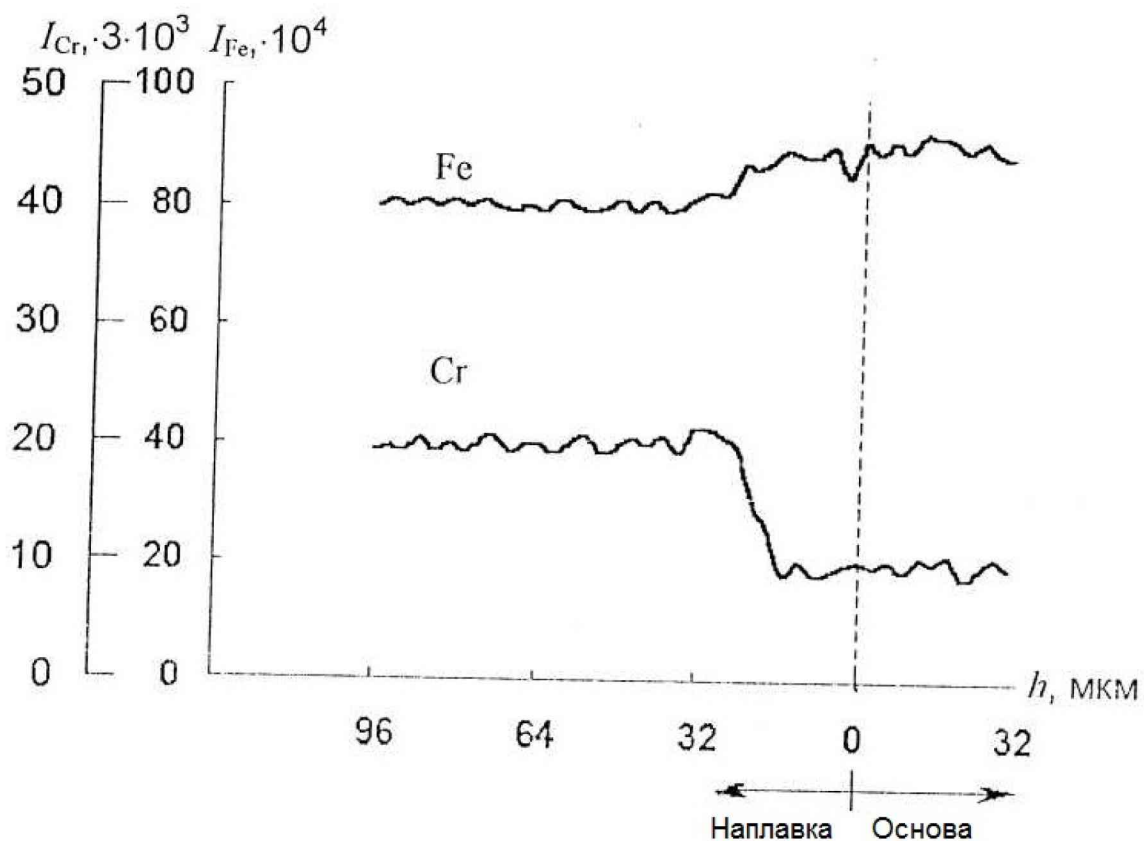
Аналіз твердості (рис. 3.9) і структури покриттів з порошку ПГ-ФБХ6-2 дозволив виявити ряд закономірностей. Одним з результатів є незалежність структури і твердості шарів від форми частинок порошку. Фракційний склад порошку значного впливу на твердість наплавленого шару не має, проте спостерігається тенденція зростання твердості формованого шару із збільшенням швидкості наплавлення [8]. Твердість одержаних покриттів при максимальних швидкостях наплавлення $V=0,7...1,6$ м/хв рівна 9000-12000 МПа. Проте, при цьому покриття має достатньо високу пористість і велику товщину дефектного шару. При оптимальних, з погляду якості покриття, швидкостях наплавлення $V=0,6...0,9$ м/хв твердість наплавлених шарів має більш низькі значення (8000-9000 МПа), будучи істотно вищим, ніж у покриттів з порошку, що самофлюсується. В даному випадку велике значення набуває факт того, що температура плавлення порошку ПГ-ФБХ6-2 практично рівна температурі плавлення підкладки. Тому для отримання міцного зв'язку

наплавленого шару з підкладкою не вимагається значного перегріву ванни розплаву, при якому відбувається дисоціація карбідів і боридних з'єднань, властивих даному матеріалу. Твердість наплавленого шару в широкому діапазоні наплавлення відповідає твердості зразка, що відрізняє дані результати наплавлення від результатів наплавлення порошку ПГ-Н70Х17С4Р4, де твердість зразка значно перевершує твердість наплавлених шарів.

Завдяки значному енерговкладу при наплавленні ПГ-ФБХ6-2 глибина наплавлення підкладки складає 300-400 мкм. Різниця в глибині проплавлення при найбільшій і найменших швидкостях наплавлення не перевищує 100 мкм для цих порошків різного фрикційного складу. Необхідність сильного розігрівання порошку при наплавленні призводить до значного (для лазерної обробки) термічного впливу на підкладку, хоча навіть за таких умов глибина термічного впливу не перевищувала 1 мм. Зона термічного впливу при цьому має троститно-сорбітну структуру з мікротвердістю 4000-5500 МПа.



a)



б)

Рисунок 3.8 - Розподіл Fe і Cr по глибині наплавленого шару при наплавці порошка ПГ-ФБХ6-2 на сталь 45 ($P=1500$ Вт; $d=5$ мм; $V=1,3$ м/с (а); $V=0,95$ м/с (б))

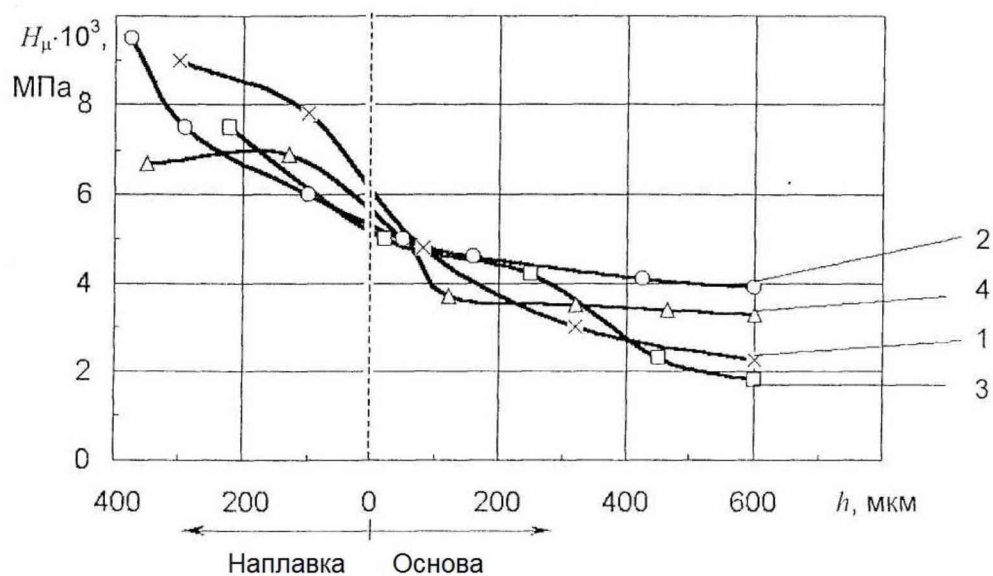
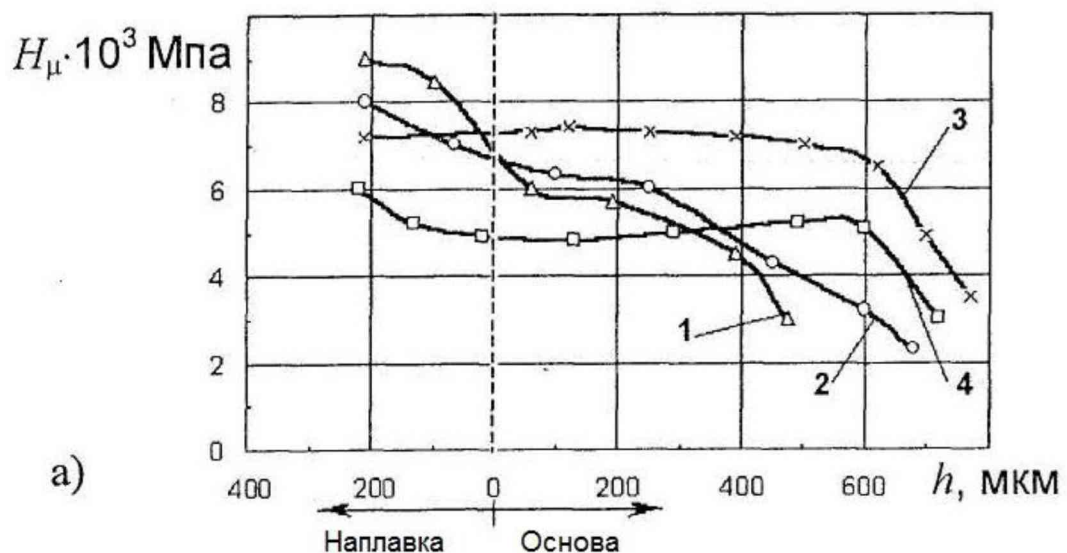


Рисунок 3.9 - Розподіл твердості по глибині наплавленого шару при наплавці порошка ПГ-ФБХ6-2 на сталь 45 ($P=1300$ Вт; $d=5$ мм; $V=1,1$ м/с (1); $V=1,6$ м/с (2); $V=0,7$ м/с (3); $V=0,95$ м/с (4))

Дослідження покриттів, наплавлених з використанням порошкових сумішей композиційного складу на основі порошоків ПГ-ФБХ6-2 і ПГ-Н70Х17С4Р4 дозволило виявити істотне зниження залежності твердості шару від параметрів наплавлення (рис. 3.10), у тому числі від швидкості наплавлення, діаметра випромінювання, зернистості порошкового матеріалу. Твердість наплавленого шару із збільшенням карбідів і боридних структурних складових досягає 6000-9000 МПа. При цьому при невеликих швидкостях наплавлення межі включень розмиті внаслідок часткового розплавлення, дифузії і перемішування матеріалів. При великих швидкостях наплавлення, межа частинок не чітка, легко фіксує і носить нерегульований характер. Як встановлене літературними джерелами і пошуковими експериментами введення порошкового алюмінію (ПАД) в порошкові суміші знижує наявність в наплавленому металі пор.

Залежність кількості пор на одиницю площі наплавленого шару представлена на рис. 3.11. Саме оптимальне співвідношення вмісту алюмінію у складі порошкових сумішей для лазерного наплавлення досягає 4...6%. Слід зазначити, що збільшення вмісту алюмінію в присадних матеріалах понад 12% веде до утворення тугоплавкої алюмінієвої оксидної плівки з температурою плавлення 2060 °С. Наслідком цього є погіршення формування шарів, а наплавлені поверхні стають більш шорсткими.



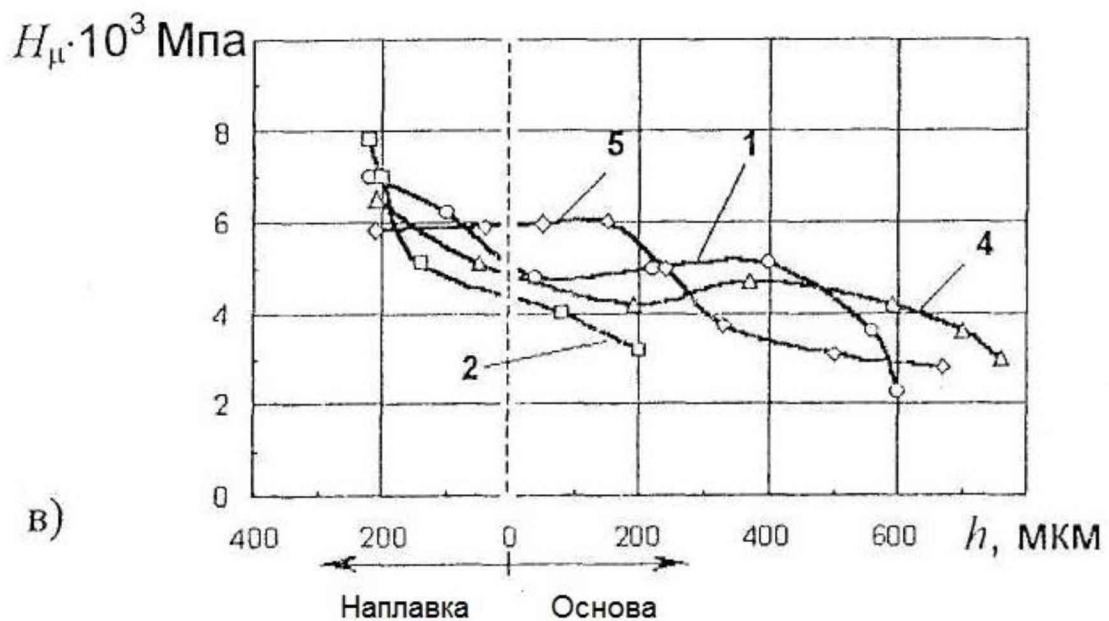
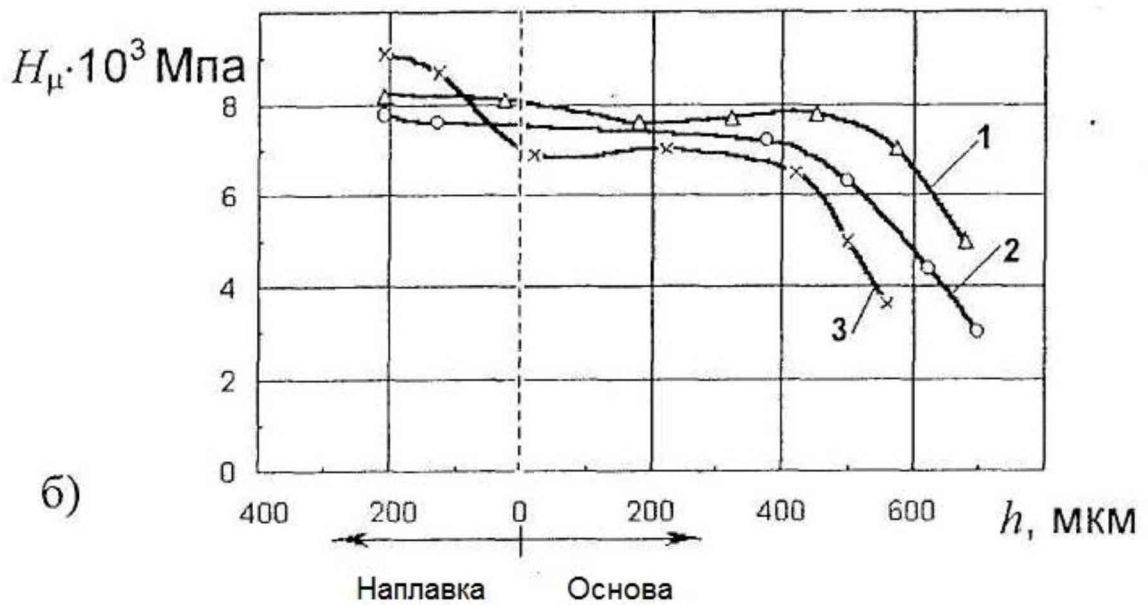


Рисунок 3.10 - Розподіл твердості по глибині наплавленого шару порошкової суміші на сталь 45: $P=1300$ Вт, $d=5$ мм, зернистість 200-400 мкм
 а) ПГ-ФБХ6-2 - 25 %; ПГ-Н70Х17С4Р4 - 75 %;
 б) ПГ-ФБХ6-2 - 70 %; ПГ-Н70Х17С4Р4 - 25 %; ПАД - 5 %;
 в) ПГ-ФБХ6-2 - 50 %; ПГ-Н70Х17С4Р4 - 50 %;

Окрім виникнення пор, тріщин, дефектність наплавлених покриттів визначає характер нерівності, її шорсткість. Висота нерівностей при наплавленні обмазки з порошку ПГ-Н70Х17С4Р4 завтовшки 0,7 мм в один шар при перекритті валів 0,5 не перевищує 100... 140 мкм, при наплавленні ПГ-

ФБХ6-2 якість поверхні гірше, а для порошкових сумішей ПГ-ФБХ6-2+ПГ-Н70Х17С4Р4 висота нерівностей має проміжне значення. В цілому висота нерівностей поверхонь наплавленого покриття зменшується при зниженні швидкості наплавлення ($V=0,95...1,1$ м/хв, шлікерне оплавлення), при збільшенні перекриття валів і при наплавленні в два і більше шарів. Якість поверхні наплавленого шару істотно погіршується із збільшенням товщини обмазки (більше 1 мм). Для шарів, наплавлених методом газопорошкового наплавлення (ГПЛН), висота нерівностей складає 70...80 мкм.

На якість покриттів впливає, також, перекриття валиків. З рис. 3.12 видно, що наплавлення в два шари (переплавка наплавленого шару) при шлікерній наплавці різко знижує товщину дефектного шару.

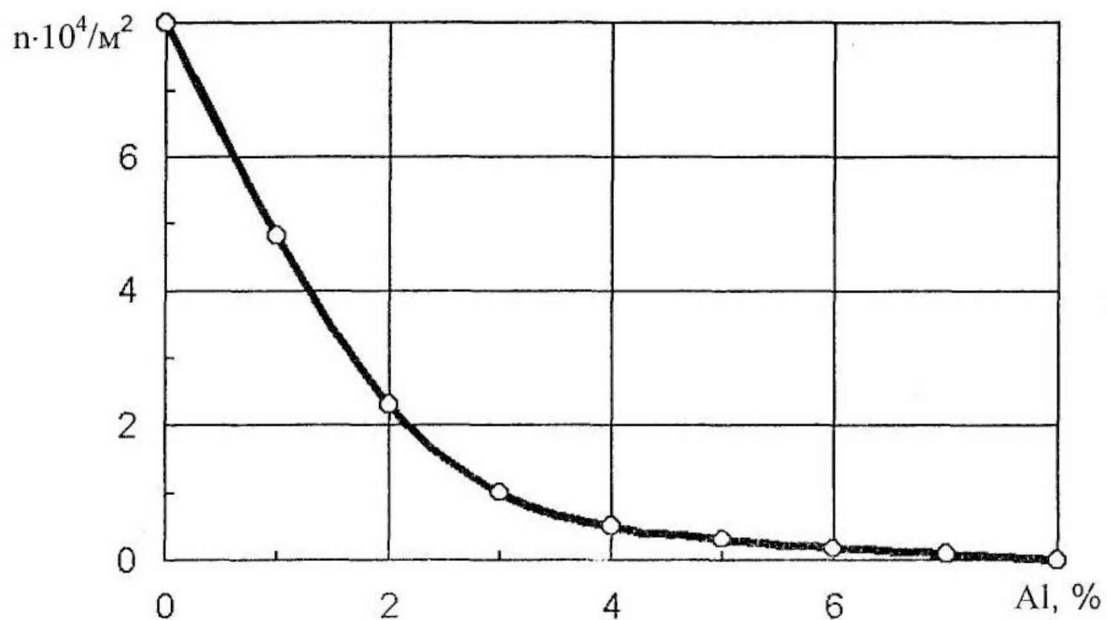


Рисунок 3.11 – Залежність утворення числа пор в наплавленому шарі від вмісту алюмінію в наплавленому порошку (наплавка порошковою сумішшю ПГ-ФБХ6-2+ПГ-Н70Х17С4Р4+ПАД)

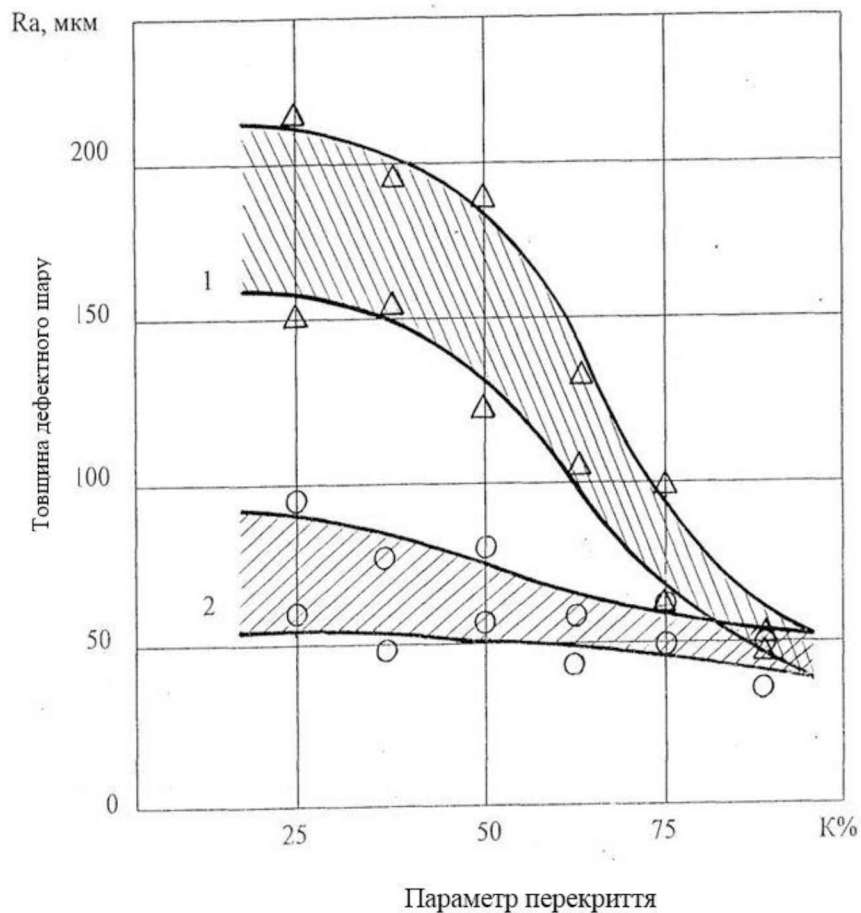


Рисунок 3.12 - Залежність товщини дефектного шару від перекриття валиків

- 1 - наплавка в один шар;
- 2 - наплавка в два шара;
- тип обмазки: шлікерний
- $P = 1400 \text{ Вт}$, $V = 1,4 \text{ м/хв}$

3.4 Характеристика основних властивостей покриттів

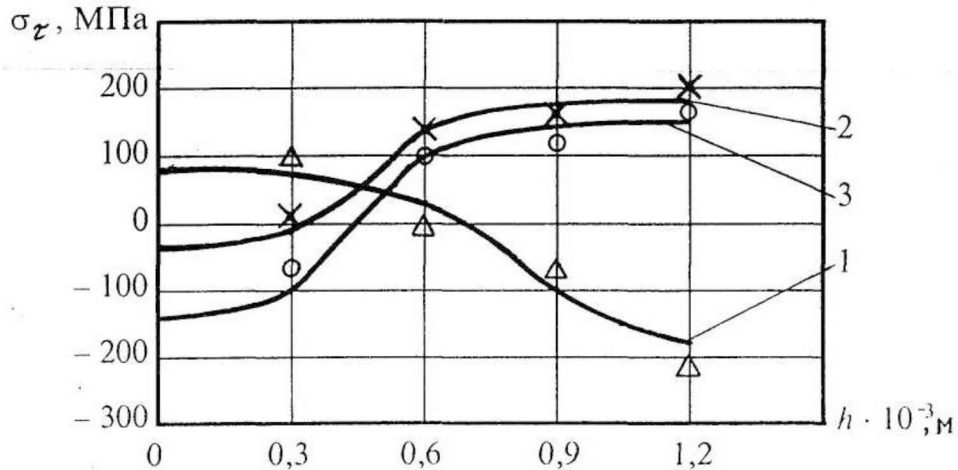
Міцність зчеплення є однією з найважливіших характеристик, що визначає працездатність покриття.

Міцність зчеплення при лазерному наплавленні порошками на нікелевій основі складає 239 МПа, що на 33 % менше міцності зчеплення при наплавленні порошку ПГ-ФБХ6-2 (354 МПа). Наплавлення порошковою сумішшю оптимального складу має міцність зчеплення 312 МПа на 12% меншу, ніж у наплавлення ПГ-ФБХ6-2.

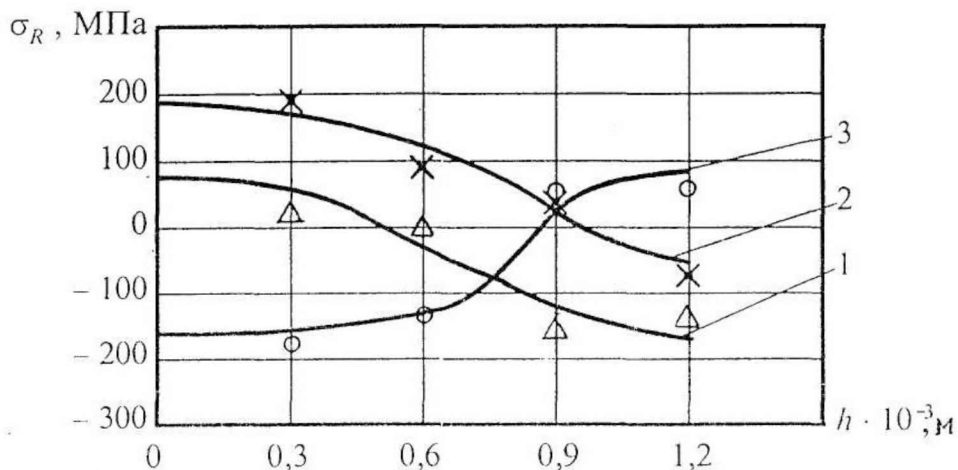
Відомо, що межа витривалості наплавленого матеріалу при використанні методів електродугового наплавлення знижується на 20-70% в порівнянні з основним матеріалом. Однією з причин цього є наявність несприятливої зони

залишкових напружень (понад 240 МПа).

При лазерному наплавленні вивчалися напруження першого роду, що визначають в значній мірі напружений стан поверхневих шарів. Розподіл залишкових макронапружень по глибині наплавленого шару представлені на рис. 3.13.



а)



б)

Рисунок 3.13 - Розподілення залишкових макронапружень по глибині наплавленого шару

а - тангенціальні,

б - радіальні;

1 - ПГ-Н70Х17С4Р4

2 - ПГ-ФБХ6-2

3 - ПГ-ФБХ6-2 (70%)+ПГ-Н70Х17С4Р4(25%)+ПАД(5%)

Найменше значення залишкових напружень отримано при нанесенні покриттів з порошку на нікелевій основі, що зв'язано, мабуть, з меншим

енергетичним внеском в зразок і, відповідно, меншою і більш ізотропною зоною термічного впливу. Порошки на залізній основі при плавленні вимагають великих енергетичних витрат тому утворюється велика зона термічного впливу, що, зрештою, дає більш значне зниження характеристик опору втомленості. Сумарне значення розподілу залишкових напружень першого роду по товщині наплавленого шару при наплавленні порошків приведено на рис. 3.14.

Підвищення довговічності сполучення "кулачок розподільного валу - штовхач клапана" є одним з найскладніших питань при ремонті двигуна СМД-60. Довговічність сполучення забезпечується зносостійкістю його складових. Тому при відновленні розподільних валів, деталей гідравлічних пристроїв важливу роль грає вибір матеріалу для покриття зношених поверхонь кулачків. В основному вибір матеріалу проводиться по твердості і на підставі вивчення працездатності пар, що труться. Одним з чинників, що визначають працездатність пар, що труться, є знос [9].

Як наголошувалося, структура наплавлення на основі нікель-хром-бор-кремнієвих самофлюсуючих порошків типу ПГ-Н70Х17С4Р4, є твердим розчином хрому в нікелі з невеликим вмістом карбїду (Cr_2C_6) і інтерметалїдної (CrNi) складових при твердості від HRC 40 до HRC 58. Твердість кожного шару істотно залежить від режимів наплавлення, ступені розчинення карбїду і боридної фаз, характерних для вихідного матеріалу і ступеня вигорання вуглецю і бору. Твердість наплавлення з ПГ-ФБХ6-2 мало залежить від режимів наплавлення і складає HRC 52...65. Навіть в широкому діапазоні режимів процесу наплавлення не вдається добитися повного розчинення частинок заліза в нікелевій основі, що значною мірою обумовлене великою відмінністю температур плавлення початкових порошків.

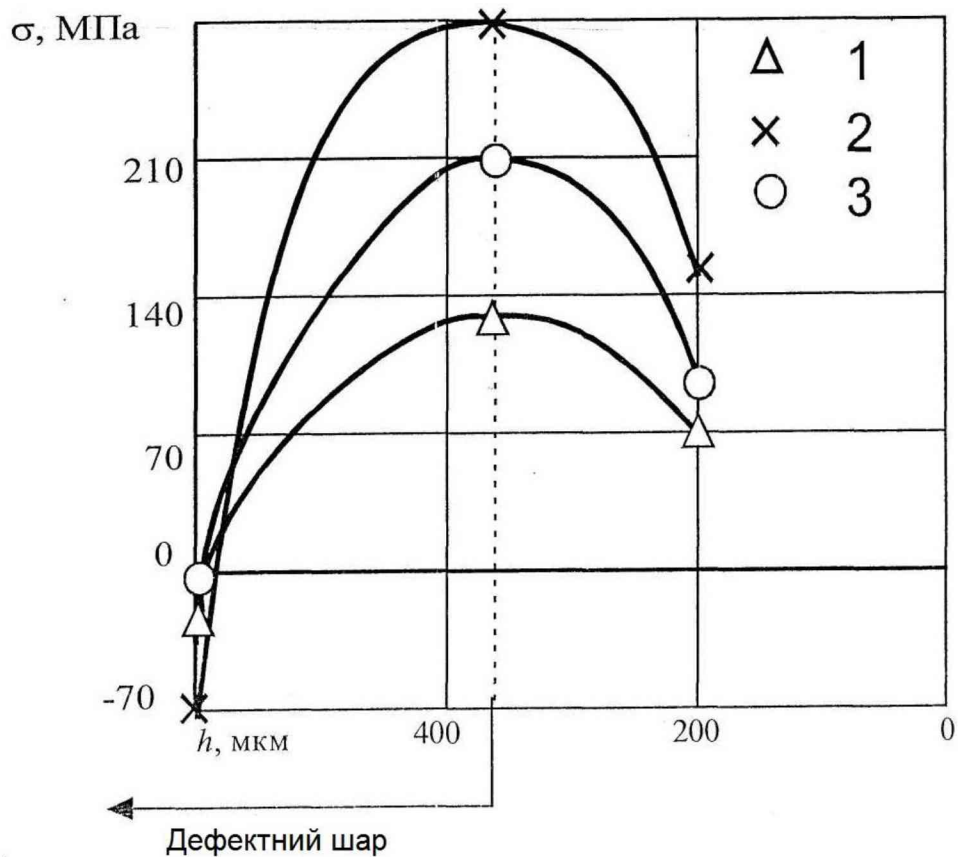


Рисунок 3.14 - Розподіл кінцевих напружень першого роду по товщині наплавленого шару при наплавці порошків
 1 - ПГ-Н70Х17С4Р4
 2 - ПГ-ФБХ6-2
 3 - ПГ-ФБХ6-2 (70%)+ПГ-Н70Х17С4Р4(25%)+ПАД(5%)

При наплавленні порошкових сумішей в структурі шару на основі порошків ПГ-Н70Х17С4Р4 і ПГ-ФБХ6-2 з твердістю до HRC 58 спостерігаються окремі включення частинок порошку ПГ-ФБХ6-2 з твердістю до HRC 70, які при найжорсткіших енергетичних характеристиках наплавлення частково розчиняються на межі з матрицею, але в цілому по хімічному складу відповідають початковій структурі порошку на основі заліза. Наявність такої композиційної структури пропонує можливість отримання високих триботехнічних властивостей.

Як показують представлені на рис. 3.15 залежність зносу зразків(виготовленні з опорних шийок розподільного валу з різним типом обробки) при лазерному наплавленні виявився для ПГ-Н70Х17С4Р4 (2) в 1,7 рази і для порошкової суміші ПГ-ФБХ6-2+ПГ-Н70Х17С4Р4+ПАД (3) в 2,7 рази

менше зносу зразків загартованих ТВЧ (1). Зносостійкість контрзразків (виготовленні з штовхачів, п'яти, яких наплавленні легованим чавуном) працюючих в парі з наплавленими зразками (2) виявилася в 1,5 рази, а з наплавленими зразками (3) в 1,7 рази вище за зносостійкість контрзразків, що працювали в парі із зразками (1), зміцненими ТВЧ.

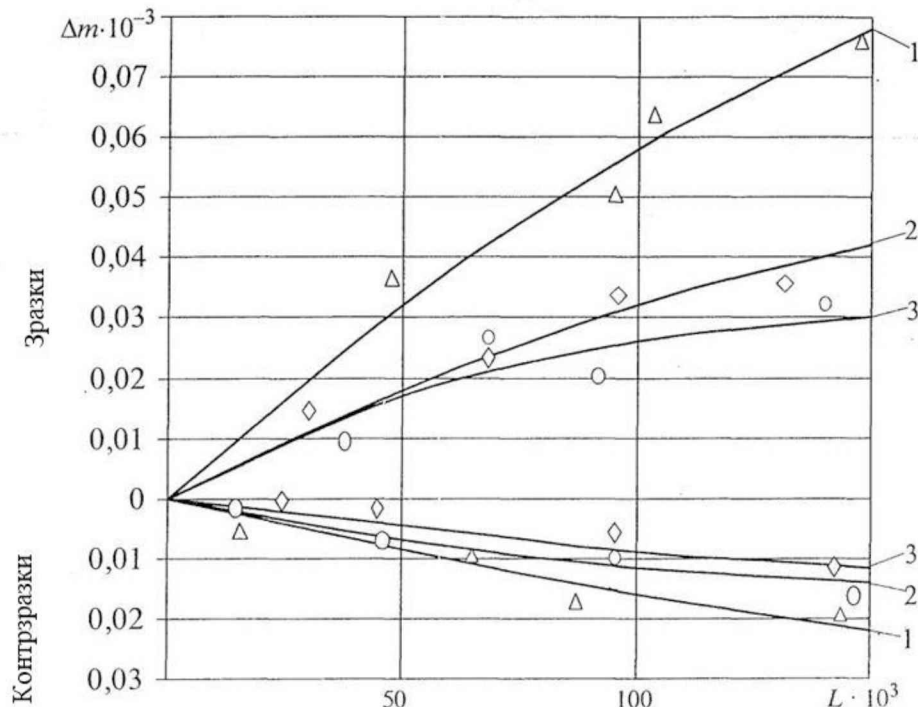


Рисунок 3.15 – Залежність зміни втрати маси зразків і контрзразків від шляху тертя

1 - сталь 45

2- ПГ-Н70Х17С4Р4;

3 - ПГ-ФБХ6-2 (70%)+ПГ-Н70Х17С4Р4(25%)+ПАД(5%)

Підвищення зносостійкості наплавлених поверхонь можна пояснити більш високою твердістю, формуванням текстури покриттів. Як відомо, текстуровані покриття більш зносостійкі порівняно з не текстурованими. Більш висока зносостійкість лазерних покриттів з порошкових сумішей ПГ-ФБХ6-2+ПГ-Н70Х17С4Р4+ПАД порівняно з покриттями з шлікерних порошоків, що самофлюсуються, можна пояснити схильністю нікелевої пластичної основи до скріплювання при короткочасних високих навантаженнях. Ця властивість структур на основі нікелю виявляється в умовах недостатнього мастила.

Випробування зразків на контактну міцність, проведені при

навантаженнях 990.. 1970 Н, формували в поверхневих шарах випробовуваної пари напруження 800..1220 МПа. Результати випробувань показали, що контактна міцність покриттів з ПГ-Н70Х17С4Р4 і порошкової суміші з 70%-ним вмістом ПГ-ФБХ6-2 в значному діапазоні навантажень не нижче за контактну міцність поверхні контртіл з термообробленої сталі 45 (рис. 3.16).

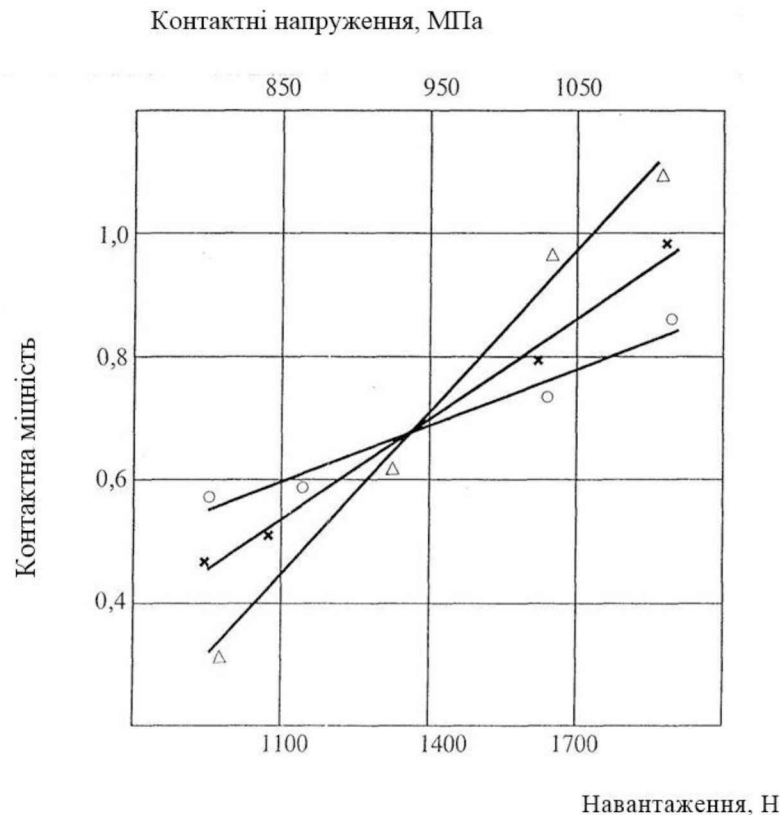


Рисунок 3.16 - Результати випробувань на контактну міцність
 О ПГ-Н70Х17С4Р4;
 Δ ПГ-ФБХ6-2;
 Х - ПГ-ФБХ6-2 (70%)+ПГ-Н70Х17С4Р4(25%)+ПАД(5%)

3.5 Оптимізація технологічних режимів процесу лазерного наплавлення

В основу вибору і оптимізації технологічних режимів лазерного наплавлення встановлені умови виконання якісного проведення процесу отримання шарів наплавленого металу високої твердості, без пір, з мінімальною кількістю тріщин. Здійснення процесу повинне виконуватися продуктивно [10].

Визначали наступні технологічні параметри: товщина попереднього шару

шлікерного покриття 0,30... 1,20 мкм (для шлікерного лазерного наплавлення, ШЛН), ефективного діаметра лазерного променя 3,5...7 мм, швидкість переміщення лазерного променя 0,5...2,0 м/мін, товщина наплавленого шару 0,05...2,0 мм (для газопорошкового лазерного наплавлення ГПЛН).

Процес взаємодії лазерного випромінювання з порошковими матеріалами є нестационарним. Це пов'язано з супроводом різних фізичних ефектів (випаровування, зміни теплоємності). У зв'язку з цим оцінку енерговкладення для створення наплавлених шарів проводили по інтегральній характеристиці - питомої енергії наплавлення $E_{\text{п}}$, яка визначає мінімальну енергію, необхідну для реалізації проведення наплавлення і створення якісного шару.

Дослідження показали, що оптимальна область технологічних режимів лазерного наплавлення, яке дає можливість отримати якісні наплавлені шари спостерігається в діапазоні швидкостей від 0,5 до 2,5 м/хв. Питома енергія наплавлення для різних порошкових матеріалів була наступною: ПГ-ФБХ6-2 від 4 до $8 \cdot 10^9$ Дж/м², ПГ-Н70Х17С4Р4 від 1,5 до $6,2 \cdot 10^9$ Дж/м², для порошкової суміші ПГ-ФБХ6-2(70%)+ПГ-Н70Х17С4Р4(25%)+ПАД(5%) від 1,6 до $7,1 \cdot 10^9$ Дж/м² (рис. 3.17).

Встановлена залежність оптимальних технологічних параметрів лазерного наплавлення для сталей 45, 40Х, ШХ15 залежно від швидкості обробки, діаметра лазерного променя при різних потужностях обробки як для ШЛН (рис. 3.18а), так і для ГПЛН (рис. 3.18б). Области, відзначені безперервними лініями, відповідають добрій і дуже добрій якості покриттів.

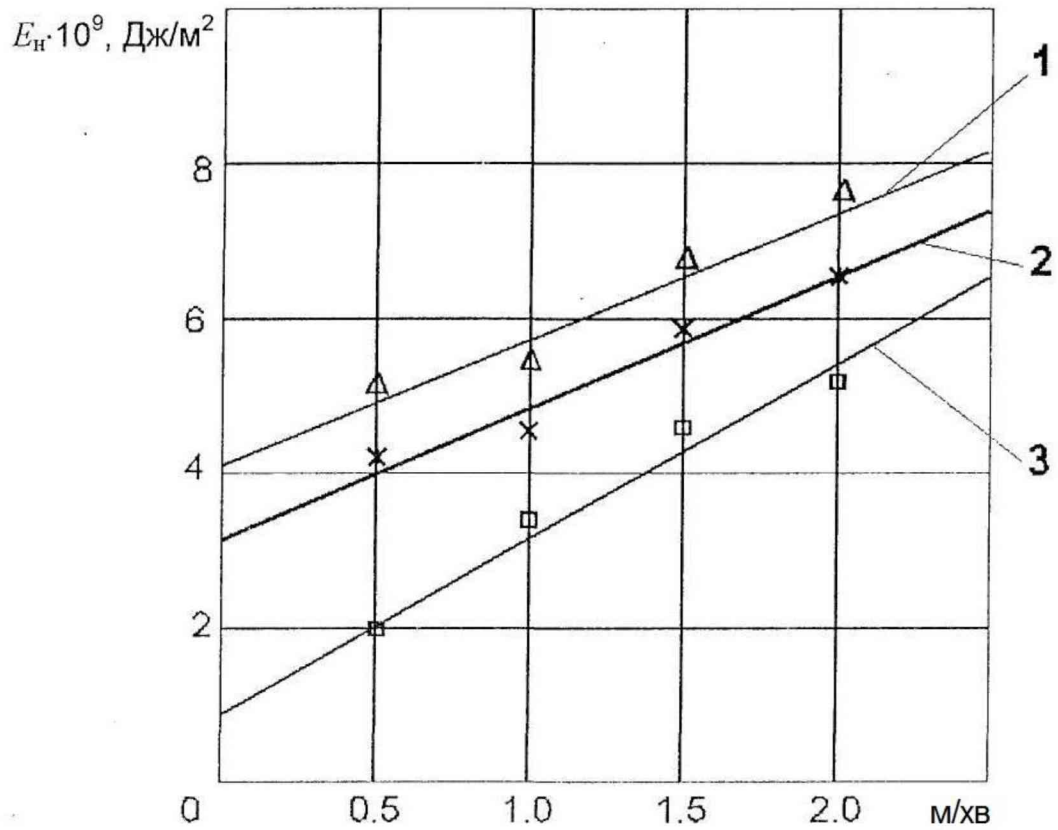
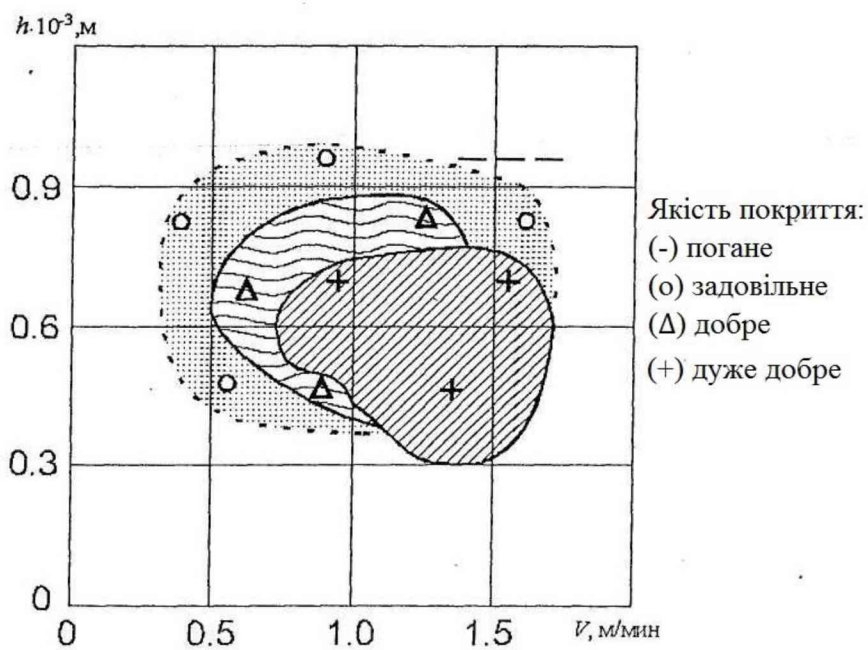


Рисунок 3.17 – Питова енергія наплавки для різних порошкових матеріалів
 1 - ПГ-ФБХ6-2; 2- ПГ-ФБХ6-2+ПГ-Н70Х17С4Р4+ПАД;
 3 - ПГ-Н70Х17С4Р4



a)

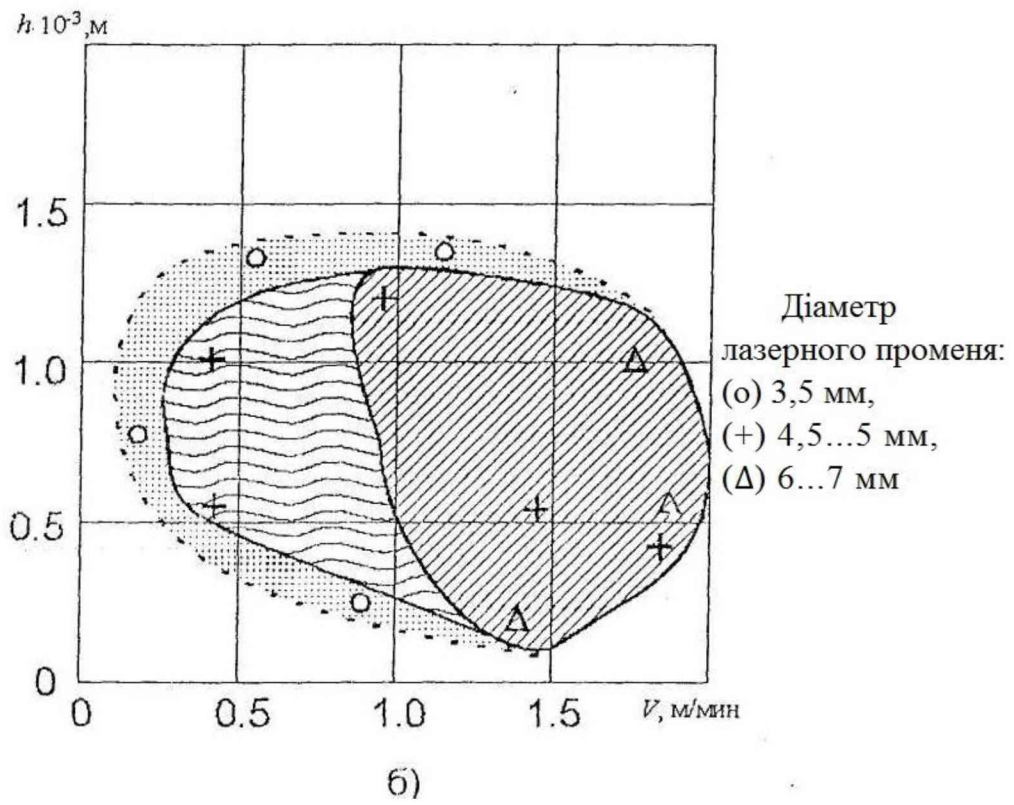


Рисунок 3.18 - Залежність технологічних параметрів від швидкості наплавки а-ШЛН; б-ГПЛН

4. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ І ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ЛАЗЕРНИМ НАПЛАВЛЕННЯМ

4.1 Вибір і обґрунтування номенклатури деталей сільськогосподарських машин для лазерного відновлення

При виборі деталей сільськогосподарської техніки, відновлюваних лазерним наплавленням, необхідно враховувати особливості технології, що розробляється: деталі повинні бути відповідальними, працювати в тяжких умовах, площа відновлюваних поверхонь - відносно невелика, але місця відновлення труднодоступні, величина зносу може бути від 0,1 мм до 1 мм. Матеріал відновлюваних деталей - високовуглецеві леговані сталі і чавуни.

Дані випробувань сільськогосподарських машин в експлуатаційних умовах показують, що такими характерними деталями можуть бути кулачкові вали різних типів, деталі гідросистем різних конструкцій (золотники гідророзподільників, шестерні гідронасосів, втулки торцевих ущільнень гідротрансмисії), розподільні вали ДВС сільськогосподарських машин.

На більшості самохідних сільськогосподарських машин застосовується гідростатична трансмісія ГСТ-90, для приводу провідних коліс. Дослідження по випробуваннях машин у виробничих умовах доводять, що надійність ГСТ-90 недостатньо висока, а напрацювання повністю по групах сільськогосподарських машин знаходиться в межах 76... 100 мотогодин.

Більше 17% відмов по гідротрансмисіях приходить на знос золотникових пар, втулок торцевих ущільнень. Це пояснюється, з одного боку, складними умовами роботи деталей (хвильові ударні процеси, абразивна дія в гідравлічному середовищі) і, з другого боку необхідністю використання деталей з особливо якісних матеріалів (легованих сталей, високоякісних чавунів) з високим ступенем точності виготовлення.

Застосування традиційних методів відновлення, таких як гальванопокриття, дугові види наплавлення, для цих деталей малоприматні по ознаках не технологічності, неможливості досягнення високої міцності.

Серед ДВС сільськогосподарських машин на частку газорозподільного

механізму (ГРМ) доводиться 25...27% відмов від загального числа відмов двигуна. Основною деталлю ГРМ є розподільний вал, довговічність якого визначається інтенсивністю зносу його кулачків і опорних шийок. За даними досліджень для двигуна СМД-60 знос опорних шийок вельми незначний і для більшості розподільних валів лежить в межах допуску. В той же час, встановлено, що знос кулачків по середніх значеннях невеликий, але по максимальних величинах значний. Середньомаксимальний знос кулачків досягає $(0.9...1.5) \cdot 10^{-3}$ м. Таким чином, для підвищення загального терміну служби двигуна потрібно підвищення зносостійкості відновленого сполучення "кулачок-штовхач".

Досягши величини зносу більше граничної, відновлення ведуть, використовуючи різні види наплавлень (вібродугову, під шаром флюсу або газу, газополум'яну, плазмову), електроконтактне напікання порошків, гальванопокриття. Загальним недоліком способів заснованих на використуванні дугових зварювальних процесів, є значні деформації розподільних валів, великі припуски на механічну обробку, не завжди забезпечується достатня зносостійкість, твердість і контактна міцність нанесеного шару. Гальванопокриття не забезпечують необхідній міцності зчеплення з основою через високі контактні напруги на вершинах кулачків. Аналогічна картина спостерігається при роботі паливної апаратури у кулачків паливних насосів. Є також складні дорогі деталі з невеликими поверхнями, що зношуються, відновлення яких звичайними методами утруднено. В якості такої деталі може служити вторинний вал КПП трактора Т-150К. Поверхні при відновленні звичайними методами наплавлення перегріваються, відбувається викривлення деталі. Для відновлення зношених поверхонь таких деталей пропонується використовувати лазерне наплавлення [11].

На підставі аналізу особливостей роботи ряду деталей трансмісії, гідророзподільника, дизельної паливної апаратури, ГРМ двигунів сільськогосподарських машин, їх зношування і відмов, проведений вибір номенклатури деталей, що підлягають відновленню лазерним наплавленням (таблиця 4.1)

4.2 Дефекти розподільного валу і способи їх усунення

Розподільний вал виготовляють штампуванням із сталей 40, 45 для більшості тракторних і автомобільних двигунів або із спеціального чавуну (двигун ЗІЛ-130) Основні дефекти розподільного валу: згин, знос і відколювання опорних шийок і кулачків; знос посадочного місця і канавки шпонки під розподільну шестерню (перевіряють при ослабленні посадки шестерні або при її вибракуванні); знос або пошкодження різьби [12].

Вал вибраковують при тріщинах, аварійному згині або скручуванні, зламі і при відколах металу по торцях вершин кулачків більше 3 мм на ширині кулачка.

Згин розподільного валу усувають правкою в холодному стані на призмах під пресом. Допустиме биття середніх опорних шийок, відносно крайніх не більше 0,05 мм для більшості автотракторних двигунів. Биття шийки під розподільну шестерню допускається не більше 0,03 мм.

Зношені кулачки шліфують до виведення слідів зносу і відновлення профілю кулачка. Після шліфування кулачка висота підйому клапана не змінюється.

При подальшому шліфуванні значно зменшується радіус вершини кулачка. Кулачок стає гострим, внаслідок чого помітно порушуються фази газорозподілу, оскільки скорочується час відкриття клапанів, крім того, різко збільшується зношування кулачків. Тому методом шліфування кулачків розподільного валу рекомендується відновлювати тільки один раз. Виміряють кулачки по висоті, якщо цей розмір виходить за межі допустимого, їх наплавляють і обробляють під нормальний розмір [13].

Наплавляють кулачки автоматичним наплавленням в середовищі вуглекислого газу за допомогою спеціального копіювального пристосування з охолодженням валу в процесі наплавлення, а також ручним електродуговим наплавленням або газовою зваркою. При ручному електродуговому наплавленні або газової, на бічні сторони кулачків встановлюють захисні екрани з міді або графіту. Розподільний вал поміщають у ванну з водою на

призми або підставки так, щоб половина діаметра валу була у воді.
Наплавляють кулачки в такій послідовності: 1, 7, 2, 5, 3, 6, 4 і 8.

Таблиця 4.1 - Номенклатура деталей сільськогосподарської техніки підлягаючих відновленню лазерним наплавленням.

Найменування деталі матеріал	Номер по каталогу	К-ть на вузол	Зона відновлення	Знос мм	Необхідна твердість	Спосіб подачі порошку
Гідростатична трансмісія ГСТ-90						
1.Сервопоршень, ВЧ-45	НП90-09.001	2	Знос зовнішньої поверхні	0,014	160-220 НВ	Г
2. Розподільник, 18ХГТ	НП90-00.001	2	Знос зовнішньої поверхні	0,02	56-62 HRCэ	Ш/Г
3. Втулка торцевого ущільнення. ШХ-15	НП90-04.003	2	Знос поверхні сполучення, знос паза	0,18 0,13	56-62 HRCэ	Ш
Гідророзподільник Р-75-В3						
4.Золотнік гідророзподільника, ШХ-	Р-75-80245	3	Знос зовнішньої поверхні	0,05	56-63 HRCэ	Ш/Г
5.Клапан перепускний, ШХ-15	Р-75-0416	3	Знос конічної поверхні	0,5	50-55 HRCэ	Ш/Г
Шасі трактора Т-150						
6.Барабан фрикціона, Сталь 40Х	150.37.140-1	4	Знос внутрішньої поверхні під диски	2,0	50-56 HRCэ	Г
7. Блок шестерень КПП, Сталь 40Х	151.37.061-30	1	Знос паза по ширині під вилку	0,87	50-55 HRCэ	Г
8.Вторинний вал КПП, Сталь 40Х	150.37.037	1	Знос канавок під ущільнюючі кільця	0,25	45-50 HRCэ	Ш

Продовження таблиці 4.1

Найменування деталі, матеріал	Номер по каталогу	К-ть на вузол	Зона відновлення	Знос мм	Необхідна твердість	Спосіб подачі порошку
9.Хрестовина кардана, ШХ-15	150.36.115	6	Поверхня під підшипники 164- 220.1044	0,03	55-60 HRCэ	Г
Шасі трактори МТЗ-80						
10. Вилка перемикання КПП, Сталь 45	36-1702024	2	Знос поверхні щок по товщині	2,0	45-50 HRCэ	Ш
11. Сателіт 3М, Сталь 40Х	36-2403024	2	Поверхня під підшипник	0,2	55-60 HRCэ	Г
Паливний насос УТН-5						
12. Вал кулачковий, Сталь 45	УТН-3-111152А	1	Вершина кулачка	2,6	50-55 HRCэ	Г
Двигун СМД-60						
13. Вал розподільний, Сталь 45	60-05.001	1	Вершина кулачка	3,0	50-55 HRCэ	Г
Стартер пускового двигуна ПД-10						
14.Якор стартера, Сталь 40Х	СТ-212-Р	1	Поверхня під підшипник ковзання	0,2	45-50 HRCэ	Ш

Ш - шлікерна обмазка

Г - газопорошкове лазерне наплавлення

На вершину кулачка наплавляють шар більшої товщини, ніж на решту поверхні. Шліфують кулачки на копіювальні-шліфувальних верстатах типу ЗА438. Після наплавлення вал перевіряють на згин і при необхідності правлять. Потім наплавлені кулачки заздалегідь обробляють абразивним кругом за шаблоном і після цього остаточно шліфують по копію під нормальний розмір і притупляють кромки.

Опорні шийки розподільного валу шліфують під зменшений ремонтний розмір. В цьому випадку в блок необхідно встановлювати втулки ремонтного розміру. Часто шийки ремонтного розміру нарощують і обробляють під збільшений розмір, а втулки розточують під цей розмір. При нарощуванні невеликих шарів застосовують хромування або залізнення. Великі шари наносять автоматичною наплавкою в середовищі вуглекислого газу, вібродуговим або плазмовим наплавленням такими ж матеріалами, як при наплавленні кулачків. Перед наплавленням масляні канали захищають графітними вставками, а перед хромуванням і залізненням — свинцевими.

Шліфують шийки на круглошліфувальних верстатах типу ЗБ151. Перед шліфуванням під зменшений ремонтний розмір зенкують масляні отвори і заглиблюють масляні канали. Наплавлені шийки шліфують в два етапи. При грубому шліфуванні застосовують грубозернисті шліфувальні круги і залишають припуск 0,2 мм на діаметр для чистого шліфування. При необхідності після грубого шліфування проводять поверхнєве гартування на глибину 2...4 мм, потім чистове шліфування під необхідний розмір, зачищають задирки на торцях шийок, притупляють і полірують краї масляних каналів [14].

Зношену шестерню відновлюють залізненням або наплавленням і обробкою під номінальний розмір. Плішкову канавку фрезерують під збільшений розмір або наплавляють зношені краї електродами типу Е42 і фрезерують під номінальний розмір. Зміщення плішкової канавки щодо діаметральної площини допускається не більш 0,01 мм, а биття поверхні шийки не більше 0,04 мм

Спрацьовану різьбу наплавляють і нарізають нову, номінального розміру або проточують і нарізають зменшеного розміру з виготовленням нової гайки.

Відновлений розподільний вал повинен відповідати наступним вимогам: твердість поверхні кулачків і опорних шийок HRC 54...62, шорсткість не нижче за 8-й клас, овальність і конусність опорних шийок не більше 0,01 мм.

4.3 Технологічний процес лазерного наплавлення відновлюваних деталей

Результати проведених досліджень дозволяють запропонувати наступну технологію відновлення відповідальних деталей сільськогосподарської техніки лазерним наплавленням, яка включає ряд операцій по миттю, дефектації деталей. Принципова схема технологічного процесу відновлення деталі лазерним наплавленням представлена на рис. 4.1

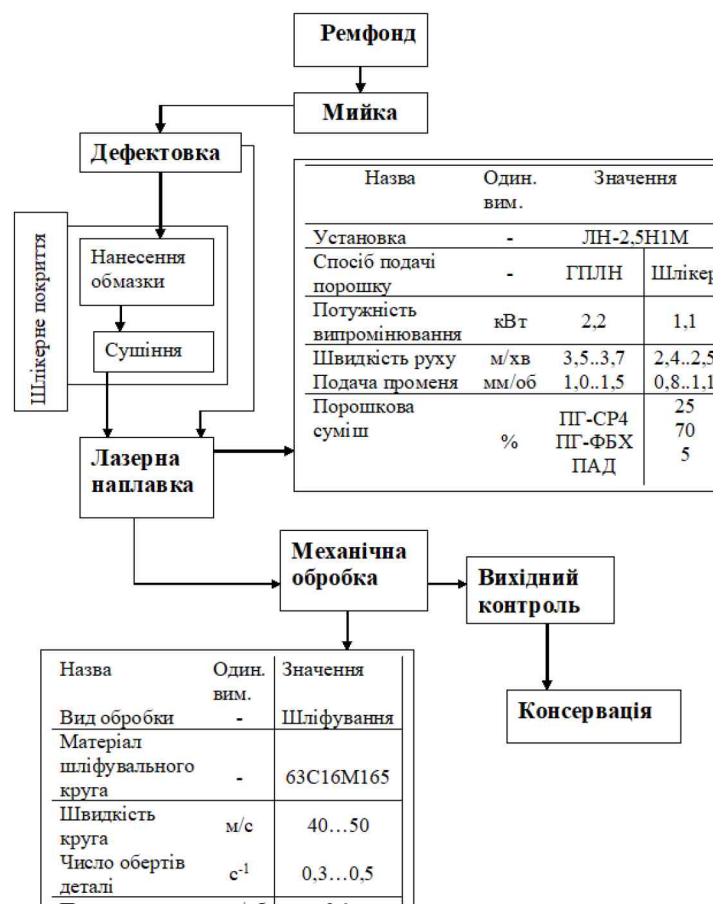


Рисунок 4.1. – Схема технологічного процесу лазерної наплавки

Лазерне наплавлення виконується двома способами. Перший спосіб передбачає нанесення шлікерного порошку-обмазки, подальшої сушки і оплавлення. Даний спосіб найбільш прийнятний для відновлення місцевого зносу, локальних дефектів площею до $1...3 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2$, при потужностях лазерного випромінювання 0,8... 1,2 кВт [15].

Другий спосіб застосовується у вигляді вдунання порошкових сумішей в зону лазерного променя. Для реалізації цього способу застосовуються розроблені одно- і двох позиційні живильники. Їх технічні дані: довжина регульованого факела 15... 120 мм, маса 0,9 кг. Робота живильників дозволяє отримати як однорідні, так і комбіновані по складу покриття і відрізняються плавним регулюванням і рівномірністю подачі порошку, низькою витратою газу і зручністю монтажу. Витрата газу - стислого повітря - в оптимальному режимі - 0,028...0,058 м/год. Витрата порошку може складати до 1,5 кг/год при коефіцієнті використання порошку 0,5. Даний спосіб лазерного наплавлення - газопорошковий (ГПЛН) - доцільно використовувати для відновлення поверхонь із значним зносом більшої площі, наприклад, кулачки розподільних валів, валів паливних насосів. Для реалізації способу ГПЛН доцільно застосовувати потужності лазерного випромінювання - 1,0...3,0 кВт.

Оптимальні режими лазерного наплавлення відновлюваних деталей представлені в таблиці 4.2. Механічна обробка наплавлених шарів здійснюється для додання поверхні необхідного профілю і необхідних характеристик чистоти [16]. Обробка наплавлених покриттів проводиться шліфуванням через високу твердість. Шліфування наплавлених шарів з використанням порошкових сумішей на залізній основі виконується шліфувальним колом з чорного карбиду кремнію, який забезпечує продуктивність у 2...4 рази вище, ніж електрокорунд. Рекомендується застосовувати наступні режими шліфування наплавлених деталей: $V_{кр}=40..50 \text{ м/хв}$; $n_{дет}=0,3...0,5 \text{ с}^{-1}$, $S=0,1 \text{ мм/об}$.

Таблиця 4.2 - Оптимальні режими лазерного наплавлення відновлюваних деталей

Назва елементів технології	Од.вим	Значення	
		1	2
1. Лазерна установка	-	Комета 2	
2. Спосіб подачі порошку		Вдування порошку в зону лазерного випромінювання	Шлікерна обмазка
3. Потужність випромінювання	-	2,0...2,2	1,0...1,1
4. Швидкість наплавлення	м/хв	3,5...3,7	2,4...2,5
5. Подача лазерного променя	мм/об	1,0...1,5	0,8...1,1
6. Діаметр лазерного променя	м	$5...8 \cdot 10^{-3}$	$4...6 \cdot 10^{-3}$
7. Склад порошкової суміші	%	ПГ-СР4 ПГ ФБХ-6-2 ПАД	25 70 5

5. ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЗАСТОСУВАННЯ ЛАЗЕРНОГО НАПЛАВЛЕННЯ

Техніко-економічні показники пропонованого відновлення деталей сільськогосподарської техніки лазерним наплавленням дають можливість оцінити доцільність і ефективність проведення організаційних і технічних заходів при впровадженні способу у виробництво.

Для впровадження технології лазерного наплавлення і досягнення високих економічних показників рекомендується розширити номенклатуру відновлювальних деталей: розподільчі вали, вторинні вали КПП, а також інші деталі по вибраній номенклатурі і поставка даних деталей на спеціалізовані ремонтні підприємства АПК України.

Початкові дані до розрахунку економічної ефективності застосування лазерного наплавлення для відновлення розподільного вала СМД-60 приведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - Початкові дані до розрахунку економічної ефективності

Найменування Показників	Од. вим.	Відновлювана деталь
		Розподільний вал СМД-60
1	2	3
1. Капітальні витрати	грн.	153000
2. Річний об'єм відновлення	грн.	2100
3. Собівартість одиниці продукції (наплавлення однієї деталі)	грн.	19,88
5. Трудомісткість відновлення одиниці продукції	люд.год	0,73
6. Режим роботи підприємства	-	Однозмінний
7. Річний фонд часу	год.	1870

Дані про вартість устаткування і трудомісткості відновлення деталей приведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 - Вартість устаткування і трудомісткість відновлення

Складові	Розподільний вал СМД-60
Найменування операції	Наплавлювальна (лазерне наплавлення)
Марка устаткування	Лазерний технологічний комплекс
Вартість устаткування (грн)	153000
Трудомісткість, люд.год	0,73
Вартість нової деталі, грн	179,93

Приведені витрати є сумою собівартості і питомих капітальних вкладень, і визначаються по формулі:

$$Z_{\text{від}} = C_{\text{від}} + E_{\text{н}} \cdot K_{\text{в}}$$

де $Z_{\text{від}}$ - приведені витрати на одиницю продукції, грн.;

$C_{\text{від}}$ - собівартість одиниці продукції, грн.;

$E_{\text{н}} = 0,15$ - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень;

$K_{\text{в}}$ - питомі капітальні вкладення у виробничі фонди, грн.

Розрахунок собівартості відновлення деталей здійснювали по формулі:

$$C_{\text{від}} = C_{\text{з}} + C_{\text{е}} + C_{\text{а}} + C_{\text{тр}} + M + H_{\text{р}}$$

де, $C_{\text{з}}$ - заробітна плата робітників, зайнятих на операціях, пов'язаних з лазерною обробкою, грн;

$C_{\text{е}}$ - витрати на електроенергію, грн;

$C_{\text{а}}$ - витрати на амортизацію устаткування і оснащення, грн;

$C_{\text{тр}}$ - витрати на утримання і ремонт устаткування і оснащення, грн;

M - витрати на наплавочні матеріали, грн;

$H_{\text{р}}$ - накладні витрати, грн.

Заробітну плату робітників з нарахуваннями розраховуємо по формулі:

$$C_{\text{з}} = T_{\text{год}} \cdot T_{\text{н}} \cdot K_{\text{д}}$$

де $T_{\text{год}}$ - годинна тарифна ставка, грн/год

для наплавщика 4 розряду $T_{\text{год}} = 40$ грн/год;

$T_{\text{н}}$ - норма часу на операцію, год;

$K_{\text{д}}$ - коефіцієнт, який враховує додаткову заробітну платню і нарахування на заробітну платню $K_{\text{д}} = 1,15 \dots 1,2$

Витрати на електроенергію розраховували по формулі:

$$C_e = C_e \cdot N_y \cdot K_c \cdot T_{\text{н}}$$

де C_e - вартість 1 кВт/год електроенергії, грн;

N_y - встановлена потужність устаткування, кВт;

K_c - коефіцієнт попиту лазерного устаткування.

Амортизаційні відрахування по устаткуванню і оснащенню визначали по формулі:

$$C_a = \frac{B_{об} \cdot A_{об}}{100 \cdot N_{\text{вiд}}}$$

де $B_{об}$ - балансова вартість устаткування і оснащення, грн;

$A_{об}$ - норма річних амортизаційних відрахувань, $A_{об} = 15\%$.

Витрати на експлуатацію устаткування і оснащення розраховували по формулі:

$$C_{mp} = \frac{B_{об} \cdot A_{mp}}{100 \cdot N_{\text{вiд}}}$$

де A_{mp} - річні відрахування на поточний ремонт устаткування і оснащення, $A_{mp} = 5\%$.

Витрати на матеріали для лазерного наплавлення визначаємо по формулі:

$$M = C_{\text{п}} \cdot m$$

де, $C_{\text{п}}$ - вартість наплавлювального порошку, грн/кг;

m - маса порошку, що наплавляється на деталь, кг.

Вартість накладних витрат розраховували по формулі:

$$H_p = \frac{C_z \cdot K_n}{100}$$

де K_n - відсоток накладних витрат

$$K_n = 350 \%$$

Дані розрахунку елементів витрат собівартості відновлюваних деталей приведені в табл.5.6.

Таблиця 5.3 - Дані розрахунку затрат

Найменування елементів витрат	Показники
	Розподільний вал СМД-60
1	2
1. Заробітна платня з нарахуваннями C_z ,	77
2. Витрати на електроенергію C_e , грн	0,36
3. Витрати на амортизацію устаткування і оснащення C_a , грн	12,2
4. Витрати на поточний ремонт устаткування і оснащення $C_{тр}$, грн	2,48
5. Витрати на матеріали M , грн	1,4
6. Вартість накладних витрат H , грн	2,67
Всього, $C_{від}$	96,11

Питомі капітальні вкладення до виробничих фондів за впроваджуваною технологією визначали по формулі:

$$K_e = \frac{K_{об}}{N_{від}};$$

$$K_e = \frac{153000}{2100 + 1300} = 45 \text{ грн},$$

де $K_{об}$ - капітальні вкладення до виробничих фондів (вартість устаткування і оснащення згідно таблиці 5.1);

$N_{від}$ - сумарний річний об'єм продукції в натуральних одиницях, шт.

Приведені витрати на відновлення вибраних деталей за пропонованою технологією відповідно рівні:

$$Z_{від} = 96,11 + 0,15 \cdot 45 = 102,86, \text{ грн}$$

Річний економічний ефект відновлення розподільних валів лазерним наплавленням замість придбання нових визначаємо по формулі:

$$E = \left(\frac{C_n}{P_n} - \frac{Z_{від}}{P_{від}} \right) \cdot N_{від}$$

де, C_n - вартість нової деталі, грн;

$P_n, P_{від}$ - ресурс, відповідно, нової і відновленої деталі

(величини $P_n, P_{від}$ приймаємо однаковими, рівні 1, оскільки експериментальні випробування наплавлених зразків не показали зниження ресурсу);

$N_{від}$ - програма відновлення деталей на поточний рік.

Тоді:

$$E = (179,93/1 - 102,86/1) \cdot 2100 = 161847 \text{ грн.}$$

Визначення терміну окупності капітальних вкладень здійснюємо по формулі:

$$T = \frac{K_0}{C_n - Z_{від}}$$

$$T = \frac{1771}{179,93 - 102,86} = 2,3 \text{ років}$$

Основні показники економічної ефективності приведені в таблиці 5.4

Таблиця 5.4 - Показники економічної ефективності

Назва	Показники
Виробнича програма, шт.	3400
Капіталовкладення:	
всього, грн.	153000
питомі, грн.	45
Затрати праці, л.год./шт.	0,73
Собівартість відновлення, грн.	96,11
Річний економічний ефект, грн.	161847
Термін окупності капіталовкладень, років	2,3

5.1. Техніка безпеки під час відновлення деталей сільськогосподарської техніки.

Техніка безпеки під час токарних робіт.

НЕБЕЗПЕКИ В РОБОТІ:

- Поранення очей стружкою, що відлітає
- Поранення рук при дотику їх до оброблюваної деталі.
- Поранення рук при неправильному поводженні з різцем.
- Поранення осколками погано склеєної деревини.

ДО ПОЧАТКУ РОБОТИ ПОТРІБНО:

- Правильно надіти спецодяг.
- Перевірити надійність кріплення захисного кожуха ремінної передачі.
- Оглянути надійність приєднання захисного заземлення до корпусу верстата.
- Прибрати з верстата всі сторонні предмети, інструменти розкласти на встановлені місця.
- Перевірити, чи немає в заготовці сучків і тріщин, після чого надійно закріпити на верстаті.
- Перевірити справність різального інструменту і правильність його заточування.
- На холостому ходу перевірити роботу верстата, а також справність пускової коробки шляхом увімкнення і вимкнення його кнопок.
- Перед початком роботи надіти захисні окуляри.

ПІД ЧАС РОБОТИ:

Подачу різального інструмента на матеріал слід проводити тільки після того, як робочий вал набере повне число обертів. подача інструменту повинна бути плавною, без сильного натиску.

Своєчасно посувати підручник до оброблюваної деталі, не допускати збільшення зазору.

**Щоб уникнути травм під час роботи на верстаті
ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ:**

- а) близько нахилити голову до верстата;
- б) приймати і передавати предмети через верстат, що працює;
- в) заміряти оброблювану деталь до повної зупинки її обертання;
- г) зупинити верстат шляхом гальмування рукою оброблюваної деталі;
- д) відходити від верстата, не вимкнувши його.

ПІСЛЯ ЗАКІНЧЕННЯ РОБОТИ ПОТРІБНО:

- Укласти на свої місця інструменти;
- Видалити з верстата стружку за допомогою щітки. Здувати стружку ротом і змитати рукою ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ;

Техніка безпеки при шліфувально-полірувальних операціях.

Для знепилювання шліфувально-полірувальних відділень установлюють потужну місцеву витяжну вентиляцію. Робота в цих відділеннях без вентиляції не дозволяється. Для запобігання травматизму під час роботи на шліфувально-полірувальних верстатах вживають таких заходів:

- Перед початком роботи слід закріпити круги.
- Для захисту очей треба роботу виконувати в запобіжних окулярах.
- Для запобігання від опіків рук слід мати бавовняні рукавиці.
- Не можна допускати перевищення частоти обертання кругів,
- Деталі слід підводити до круга поступово і обережно, щоб їх не вирвало з рук кругом.
- При шліфуванні та поліруванні мідних і латунних деталей слід застосовувати респіратори.
- Чищення пилу приймачів повинно проводитися тільки після повної зупинки верстата.
- Під час полірування магнієвих сплавів цю роботу виконують на ізольованих верстатах, застосовуючи відповідні заходи протипожежної безпеки.

Техніка безпеки при наплавочних роботах.

Організація і виконання зварювально-наплавочних робіт повинні здійснюватися відповідно до вимог ДСТУ. «Роботи електрозварювальні. Загальні вимоги безпеки», Правилами технічної експлуатації електроустановок споживачів. Правилами техніки безпеки під час експлуатації електроустановок споживачів.

Відповідальність за дотримання правил і вимог техніки безпеки, пожежної безпеки та виробничої санітарії під час виконання зварювально-наплавочних робіт покладається на інженерно-технічного працівника, а саме: на начальника і головних інженерів, а також на старших майстрів, майстрів цехів і наплавочних колон; у майстернях - на начальників і головних інженерів майстерень, начальників і майстрів цехів і наплавочних колон.

Відповідальність за дотримання електробезпеки покладається на інженерно-технічного працівника, який має кваліфікаційну групу. Не допускаються ремонт і чищення зварювальних машин та іншого електрообладнання, що перебуває під напругою.

5.2. Екологічні вимоги під час з відновлення деталей.

Шляхом комплексної екологізації виробничих процесів у всіх галузях економіки можна знизити технічне навантаження на навколишнє середовище за збереження виробничих потужностей. Екологізація виробництва залежить від екологізації різних його складових, найважливішими з яких є технічні рішення. Екологічні недосконалості технологій є однією з основних причин екологічних збитків.

В Україні лише третина з 1500 нових технологій, які щорічно впроваджуються різними галузями промисловості, є ресурсозберігаючими та екологічно чистими. В умовах відсталості технологій вжиття природоохоронних заходів для розв'язання екологічних проблем потребує величезних витрат і не дає очікуваних результатів. Тому стратегії зеленого

виробництва мають ґрунтуватися на впровадженні нових технологій з низькою екологічною інтенсивністю і низьким рівнем відходів.

Нині більшість технічних рішень ухвалюється на основі техніко-економічних показників без повного врахування чинників навколишнього середовища. Особливо важливе це питання в машинобудуванні, де еколого-економічна оцінка процесів ще не до кінця вивчена. Тому необхідно вдосконалювати науково-методичну базу еколого-економічної оцінки технічних рішень по всьому ланцюжку розроблення і виробництва продукції. Це допоможе впровадити екологічно чисті та ресурсозберігаючі технології та поліпшити загальну екологічну ситуацію.

ВИСНОВКИ

В роботі проведено огляд і аналіз в області використання лазерної обробки. Серед групи технологічних методів наплавлень лазерне наплавлення має високу перспективність застосування при відновленні деталей сільськогосподарської техніки з складними і важкодоступними поверхнями, з невеликим і місцевим зносом, працюючими в умовах динамічних навантажень і великих контактних напружень. Лазерне наплавлення застосовується у виробництві, як самостійна операція наплавлення самофлюсувальних сплавів на нікелевій основі, так і допоміжна операція поліпшення напилених порошкових покриттів оплавленням.

Проведено аналіз теоретичних передумов взаємодії лазерного випромінювання з порошковими сумішами, впливом на матеріал основи деталі.

А також були висвітлені основні властивості поверхонь отриманих лазерним наплавленням порошковими сумішами. Обґрунтовано оптимальні параметри технологічного процесу наплавлення. В роботі розроблено технологічний процес лазерного наплавлення розподільного валу двигуна СМД – 60. Також висвітленні його дефекти і способи їх усунення. Наведено перелік деталей сільськогосподарської техніки, що підлягають відновленню лазерним наплавленням.

Дано техніко – економічну оцінку впровадження запропонованого методу відновлення і зміцнення розподільних валів. А ресурс відновлених деталей знаходиться на рівні нових деталей.