

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

НУБІП України

01.12 – КМР. 203 “С” 2022.02.04. 003 ПЗ

КРИНИЦЬКИЙ СЕРГІЙ ОЛЕГОВИЧ

НУБІП України

2022 р.

НУБІП України

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет (ННІ) _____ конструювання та дизайну

УДК 621.793.09

ПОГОДЖЕНО ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Декан факультету _____ Завідувач кафедри

конструювання та дизайну _____ надійності техніки

(назва факультету (ННІ)) (назва кафедри)

_____ Ружи́ло З.В. _____

(підпис) (ПІБ)

_____ Новицький А.В. _____

(підпис) (ПІБ)

“ ” 2022 р. “ ” 2022 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему „Удосконалення технології відновлення деталей сільськогосподарських машин тпазмовим напдавленням”

Спеціальність _____ ІЗЗ – Галузеве машинобудування _____

Освітня програма _____ Технічний сервіс машин та обладнання с.г. виробництва _____

(код і назва) (назва)

Орієнтація освітньої програми _____ освітньо-професійна _____

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми _____ Новицький А.В. _____

К.Т.Н., доц. _____ (підпис)

(науковий ступінь та вчене звання) (ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

_____ К.Т.Н., доц. _____

(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

_____ Попик П.С. _____

(ПІБ)

Виконав _____ Криницький С.О. _____

(підпис) (ПІБ студента)

КИЇВ – 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет конструювання та дизайну

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
надійності техніки

К.Т.Н., доц.

(науковий ступінь, вчене звання)

Новицький А.В.

(підпис)

(ПІБ)

20

року

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Криницький Сергій Олегович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність

133 – Галузеве машинобудування

(код і назва)

Освітня програма

„Технічний сервіс машин та обладнання с.г. виробництва”

(назва)

Орієнтація освітньої програми

освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи „Удосконалення технології відновлення деталей сільськогосподарських машин плазмовим наплавленням”

затверджена наказом ректора НУБіП України від “ 04 ” лютого 2022 р. № 203 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру

2022.11.15

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи 1. Способи відновлення деталей поверхневим зміцненням. 2. Плазмове наплавлення та його різновиди. 3. Способи механізованого нанесення металопокриттів на поверхні деталей. 4. Технологічні особливості нанесення металопокриттів наплавленням. 5. Відновлення деталей порошковими композиційними покриттями. 6. Конструктивні параметри установки для нанесення металопокриттів на деталі типу «вал». 7. Нормативи витрати матеріалів для проведення технологічного процесу відновлення деталей плазмовим наплавленням. 8. Нормативні документи з охорони праці та техніки безпеки, які регламентують процеси обробки поверхонь деталей сільськогосподарських машин.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Умови здійснення плазмового нанесення металопокриттів.
2. Матеріали для плазмового наплавлення.
3. Зносостійкість деталей, відновлених плазмовим наплавленням.

Перелік графічного матеріалу (за потреби). Схема установки для плазмового наплавлення деталей типу «вал».

Дата видачі завдання “ 08 ” вересня 2021 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

Попик П.С.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Криницький С.О.

(прізвище та ініціали студента)

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ, МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	9
1.1 Короткий огляд умов зношування спряжень	9
1.2 Способи поверхневого зміцнення	11
1.3 Плазмове наплавлення та його різновиди	18
1.4 Матеріали для плазмового наплавлення	21
1.5 Висновки. Мета та завдання досліджень	25
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЛАЗМОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ПОРОШКОВИМИ СУМІШКАМИ	28
2.1 Активуючі добавки при наплавленні порошкових сумішей	28
2.2 Необхідні умови здійснення експериментального дослідження та активування способу плазмового нанесення металопокриттів	31
2.3 Сутність плазмового наплавлення	34
2.4 Визначення параметрів плазмового наплавлення	36
2.5 Режими наплавлення	38
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	44
3.1 Методологічна схема проведення досліджень	44
3.2 Експериментальна установка та прилади, основний метал та композитні матеріали	45
3.3 Визначення геометричних розмірів сформованого шару	54
3.4 Визначення пористості металопокриття	55
3.5 Дослідження зносостійкості зразків	56
3.6 Методика дослідження міцності зчеплення наплавленого металу з основним	57
РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	59

4.1 Вплив частоти обертання деталі, продуктивності та режимів наплавлення на формування металопокривів.....	59
4.2 Вплив вуглецю, хрому, нікелю та бору в порошку на щільність та товщину металопокрива.....	63
4.3 Мікротвердість наплавленого металопокрива.....	66
РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ.....	
5.1 Розрахунок економічної ефективності відновлення деталей плазовим наплавленням.....	69
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	73
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	74
ДОДАТКИ.....	83

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ВСТУП

НУВБІП України

Одним із найважливіших напрямів забезпечення запасними частинами машин та обладнання підприємств АПК є організація відновлення зношених деталей.

НУВБІП України

Сприяючим фактором розвитку та вдосконалення ремонтної бази є створення великих спеціалізованих підприємств з використанням високовиробничих відновлювальних технологій, що забезпечують рівну міцність та зносостійкість відновлених деталей з новими.

НУВБІП України

Забезпечення рівноміцності та зносостійкості відновлених деталей є найважливішим завданням у технічному переозброєнні сільськогосподарського ремонтного виробництва. Рішення її дозволить скоротити номенклатуру та обсяг запасних частин та значно підвищити ресурс машин до капітального ремонту [28, 54].

НУВБІП України

Особливо актуальною є ця проблема для деталей типу «вал» з малими величинами зносу до 0,2 мм, які займають особливе місце в ремонтному виробництві.

НУВБІП України

Відновлення їх відомими способами наплавлення обмежується термічним зміцненням матеріалу основи, втратами металу і дорогих легуючих компонентів, що уходять в стружку, і необхідністю додаткової операції - термічної обробки.

НУВБІП України

Один із напрямків у вирішенні цієї проблеми - розробка нових технологічних процесів нанесення тонкошарових високоміцних покриттів на основі металевих порошків, порошків - сплавів та тугоплавких сполук перспективними способами

НУВБІП України

обробки із застосуванням концентрованих джерел енергії - низькотемпературна плазма, іскровий та імпульсний розряд, які завоювали в останні роки міцне місце в арсеналі технологічних досліджень та розробок.

НУВБІП України

До таких способів відноситься формування металопокриттів із розпилених порошків плазмовим наплавленням.

НУВБІП України

В даний час є значний досвід з розробки та практичного використання цього способу при зміцненні деталей машин [1, 2, 3, 4]. Він показує, що тонкошарові покриття з невеликим припуском на механічну обробку і високою міцністю при низькотемпературному впливі на основу - визначають його особливу

перспективність. Проте висока шорсткість і пористість шарів, що наносять обмежує його застосування у відновлювальних технологіях.

У зв'язку з цим подальше вдосконалення та дослідження способу плазмового наплавлення з метою отримання щільних металопокриттів для відновлення деталей з малими величинами зносу є актуальним завданням, що має важливе народногосподарське значення.

Для вирішення цього завдання необхідна оптимізація основних принципів формування якісного шару при цьому способі: узгодженість у часі кількості електричної енергії, що підводиться, з подачею порошкового матеріалу у робочу зону; застосування методу раціонального легування; створення умов, найбільш сприятливих протікання процесу формування шару.

Ця робота спрямована на реалізацію зазначених принципів при розробці та дослідженні технології відновлення деталей сільськогосподарських машин, що дає можливість запропонувати деякі матеріали для наукового підходу до вибору та обґрунтування основних параметрів отримання якісних високозносостійких металопокриттів плазмовим наплавленням.

В результаті досліджень вперше теоретично встановлено та експериментально підтверджено технологічні режимів процесу, електро- та теплофізичних властивостей та гранулометричного складу розпорошеного порошку, а також залежність діаметра деталі, що відновлюється, на швидкість формування металопокриттів.

Мета роботи: підвищення зносостійкості та довговічності відремонтованих деталей типу «вал» машин сільськогосподарського призначення шляхом удосконалення технології плазмового наплавлення.

Об'єкт дослідження: технологічний процес плазмового наплавлення деталей типу "вал" у тому числі колінчастих валів двигунів за допомогою порошкової суміші.

Предмет дослідження: Покриття, одержані плазмовим наплавленням деталей.

У магістерській кваліфікаційній роботі удосконалено технологію і технологічне оснащення для механізованого наплавлення металопокриттів та подальшої механічної обробки, яка впроваджена в ПРАТ «Зернопродукт МХП» Гайсинського району Вінницької області.

Публікації. За темою магістерської кваліфікаційної роботи опубліковано 3 тези доповідей, які доповідались на ІХ Міжнародній науково-технічній конференції «Крамаровські читання» з нагоди 115-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, члена-кореспондента ВАСГНІЛ, віце-президента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) 24-25 лютого 2022 р., м. Київ, на ІІІ Міжнародній науково-практичній конференції «Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems», 2022 Кропивницький ЦНТУ, на І Міжнародній науково-практичній конференції «HSEAgro-2022». 2022. НУБіПУ.

НУБіП України

НУБіП України

НУБіП України

НУБіП України

НУБіП України

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ, МЕТА ТА ЗАВДАННЯ

ДОСЛІДЖЕННЯ

НУБІП України

1.1 Короткий огляд умов зношування спряжень

При тривалій експлуатації машин зношування деталей супроводжується зниженням експлуатаційних показників, що, зокрема, викликає погіршення якості продукції, що виготовляється. Зношування робочих поверхонь деталей нерідко вимагає їхньої повної заміни. Це підвищує собівартість виробництва через великі амортизаційні відрахування [73].

На основі робіт [50, 66, 69, 80] можна зробити висновок, що основними видами несправностей в машинах є: порушення в/сполучених поверхнях заданої посадки, зниження опірності матеріалу навантаженням циклічного характеру.

На основі всебічного вивчення видів тертя (чистого, сухого, граничного, напівсухого, напіврідинного та рідинного), факторів, що впливають на процес тертя (механічних, фізико-хімічних, теплових та електричних), а також металознавчих та інших досліджень такими вченими як Б.І. Костецький, І.В. Крагільський та ін. продовжено низку класифікацій видів зношування [66, 67, 69, 94]. Існуючі класифікації мають дві мети [49]: дати класифікацію видів зносу для його вивчення та боротьби з ним шляхом оцінки застосування різних матеріалів та сплавів, металопокриттів, зміцнюючої технології та ін. заходів підвищення довговічності деталей машини.

Провідну роль виникненні тієї чи іншої виду зносу деталі грають умови роботи, обумовлені: властивостями докільця; властивостями контактуючих матеріалів; динамічною взаємодією деталей та середовища [49]; величиною швидкості відносного ковзання поверхонь, що труться (для рухомих спряжень); величиною та характером впливу навантаження [53, 66, 67] і т.п. За наявності певних превалюючих факторів виникають різні види зношування.

Більшість спряжень деталей виходить з ладу через природне механічне зношування, що викликається зовнішнім тертям [69, 73, 84, 94] при відсутньому або безпосереднім впливом абразиву та великої кількості інших факторів, що по-різному поєднуються в конкретних умовах експлуатації машини. При цьому процес

зношування обумовлений протіканням на поверхнях, що контактуються, комплексу механічних, фізичних, хімічних і структурних змін [70].

Оскільки аналізовані процеси тертя та зношування є складними динамічними системами з великою кількістю змінних та взаємопов'язаних параметрів, що важко піддаються розрахункам [69], вивчення проблеми рівномірності [94] стосовно деталей з малими величинами зносу багатьма вченими проводилися розрахунково-експериментальним шляхом.

З робіт авторів [23, 69, 80, 96] та ін. слідує, що вали ведучих коліс, вали коробок передач, осі колінчасті та осі котків, пов'язані з підшипниками кочення, зношуються в середньому на 0,01 ... 0,04 мм. За даними досліджень [81] приблизно 53% автомобільних деталей вибраковуються при зносі 0,1 мм і 32% при зносі 0,1...0,3 мм.

Автором [12] встановлено, що 59% валів трактора ДТ-175С вибраковувалися при зносі менше 0,1 мм та 26% при зносі в межах 0,1...0,3 мм на діаметр. Фундаментальні дослідження та узагальнення, проведені В.М. Кряжковим [69, 70] за розподілом при вибракуванні сталевих деталей тракторів ДТ-175С, К-701А показали, що деталі зі зносом до 0,2 мм становлять 50...70% загальної номенклатури деталей, що підлягають відновленню.

Вивчення впливу вторинних процесів: питомого навантаження, швидкості відносного ковзання, середовища, що розділяє поверхні, роду та стану матеріалів, якості поверхонь, авторами [47, 49, 53] встановлено, що навантаження на опори більшості валів ДТ-175С і К-701А не перевищують 1 МПа, натомість є і дуже навантажені деталі тиск на які сягає 3,5...4 МПа. Руйнування поверхні деталей при експлуатаційних навантаженнях відбувається як через їх деформування, а й втрати металу, що виникає через багаторазове механічне перенапруження.

Активний хімічний вплив середовища на матеріали сполучених деталей, взаємодія їх з киснем повітря, вплив підвищеної температури та вологості призводять до корозійного зношування, що є складовою загального процесу руйнування деталей машини.

Однією з причин зниження міцності з'єднань з початком явища ковзання поверхневих шарів валу щодо маточини, що викликає фреттинг - корозію

посадкових місць [14]. Розвиток фреттинг - корозії відбувається за наявності динамічного навантаження та малих переміщень деталей щодо один одного.

Стан структури металу, якість поверхонь, насамперед їх макро та мікрогеометрія, надають вирішальний вплив на процес зношування. Встановлено

[44], що найбільшу зносостійкість має дрібнозерниста структура. Підвищення

вмісту вуглецю, легуваних елементів кремнію, нікелю, хрому, марганцю, бору, міді, броду та вольфраму сприяє підвищенню твердості та високій зносостійкості.

1.2 Способи поверхневого зміцнення

В даний час розроблені та широко застосовуються в промисловості різні способи наплавлення металів. Поява технології наплавлення відносяться до 1896 року, коли Спенсер отримав патент на винахід. Однак промислове застосування почалося дещо пізніше.

Дослідженню різних способів відновлення зношених деталей сільськогосподарської техніки методами нарощування металопокриттів присвячені роботи багатьох вітчизняних та зарубіжних науковців: В.М. Аскіназі [21], Д.Г. Вадивасова [28], Н.І. Доценко [50], П.П. Дорожкіна [49], В.В. Жукова [56], В.І. Казарцева [60], В.М. Кряжкова [69, 70], Б.Р. та А.І. Лазаренко [76], І.С. Левитського [80], Л.Г. Лівшиця, І.І. Лукевського [84], Н.М. Маслова [86], І.С. Падковича [92], Ю.М. Петрова [94], А.В. Поляченко [97], І.С. Ульмана [13], В.А. Шадричева [19], Балтера М.А. [22], Хасу А. і Морігакі О [87] та інших.

Огляд результатів дослідження цих авторів дозволяє стверджувати:

зварювання та наплавлення - найбільш поширені способи відновлення зношених та пошкоджених деталей при ремонті машин та сільськогосподарської техніки.

Існують різні способи наплавлення - газова, електродугова, в середовищі вуглекислого газу, електроіскрова, лазерна, вібродугова, електроконтактна, СВЧ ,

плазмова та ін; кожен спосіб характеризується особливостями, кожен в сукупності

визначають можливість застосування для відновлення конкретних деталей. Тому

при напавленні прагнуть застосувати також способи, які, забезпечуючи якість з'єднання, одночасно забезпечують максимальну продуктивність і ефективність

процесу.

Високу продуктивність і якість наплавленого металу забезпечуються автоматичним наплавленням під флюсом [29, 49, 69, 70]. Назва цього способу пов'язана з тим, що дуга при наплавленні електродними матеріалами (дротом, стрічкою та ін.) прихована під шаром флюсу, що попередньо насипається на поверхню основного металу.

Можливість наплавлення при великій силі струму і високій потужності енергії забезпечує цьому способу високу продуктивність при хорошій якості металу, що наплавляється. Під флюсом можна отримувати шари металу майже будь-якого хімічного складу шляхом легування одним із трьох способів: застосування легованого електродного дроту; нанесенням легуючих домішок на поверхню деталі; застосуванням легуючих флюсів [49]. Для наплавлення сталей з підвищеною твердістю та зносостійкістю практичне застосування знайшли: трубчастий порошковий дріт, розроблений І.І. Фрумїним [85]; наплавлення по дозованому шару феросплавів; легування наплавленого металу через керамічний флюс.

Разом з цим цьому способу наплавлення критичні такі недоліки: більша висока вартість обладнання, ніж для ручного дугового наплавлення покритими електродами; непридатність для наплавлення дрібних виробів складної форми; велика зона термічного впливу на основу деталі, що відновлюється (3...4 мм); наявність великих залишкових розтягуючих напружень, що знижують втомну міцність і викликають короблення деталі; низька ефективність при відновленні деталей із малими зносами.

Газове наплавлення - один із способів зварювання плавленням, що протікає в умовах часткового оплавлення основного металу при використанні високотемпературного полум'я, одержуваного при спалюванні суміші цвального газу з киснем. Горючий газ, що використовується при газовому наплавленні, повинен задовольняти наступним трьом вимогам: 1) висока температура полум'я при згорянні; 2) висока швидкість горіння; 3) висока теплота згорання. Ацетиленокисневе полум'я, що забезпечує нагрівання до високих температур, найбільш прийнятне для газового наплавлення (або зварювання), тому саме поняття газового зварювання зазвичай асоціюється саме зі зварюванням цим полум'ям.

При наплавленні, на відміну зварювання, бажана мала глибина проплавлення основного металу, тому наплавку виконують способом швидкісного зварювання (способом Лінда). При зварюванні (наплавленні) таким способом використовують

пальник з соплом великого діаметру, нагріваючи основний метал науглерожуючим полум'ям. При зварюванні з використанням горючої суміші,

збагаченої ацетиленом на поверхні металу осідають частинки відновленого вуглецю, утворюючи тонкий науглерожений шар товщиною $\sim 0,02$ мм. Внаслідок зниження точки плавлення металу науглероженого шару відбувається

розплавлення тільки тонкому поверхневому шарі. Виникнення цього явища, що називається запотіванням, свідчить про готовність основного металу до газового

наплавлення. Запотівання основного металу у поєднанні із застосуванням присадного матеріалу створює особливо сприятливу умову для газового наплавлення з незначним проплавленням основного металу. Поява запотівання

дозволяє визначити момент нагрівання до температури плавлення і точніше вибрати час подачі наплавного матеріалу.

Разом з тим науглерожування поверхні при наплавленні цим способом викликає підвищення вмісту вуглецю в наплавленому металі, що надає несприятливий вплив на його механічні властивості та корозійну стійкість. У

зв'язку з цим в даний час розглянутий спосіб застосовують тільки при наплавленні високохромистого сплаву на основі заліза, сталіту та інших високовуглецевих наплавочних матеріалів, тоді як при нанесенні покриттів з корозійно-стійкої сталі,

для якої науглерожування протипоказано, застосовують способи дугового наплавлення плавним і вольфрамовим електродами у середовищі інертного газу.

Газове наплавлення забезпечує наступні переваги:

- 1) незначне проплавлення основного металу;
- 2) можливість наплавлення дрібних деталей складної форми;
- 3) зменшення небезпеки виникнення тріщин, оскільки процес наплавлення

включає попередній підігрів та наступне уповільнене охолодження виробу:

- 4) низька вартість зварювального обладнання.

Водночас для газового наплавлення характерні й недоліки:

1) низька продуктивність при наплавленні масивних деталей, що потребують тривалого попереднього підігріву;

2) висока кваліфікація зварювальника;

3) велика зона термічного впливу.

Газове наплавлення в даний час застосовують тільки в спеціальних областях (при виготовленні клапанів високотемпературних систем високого тиску, двигунів внутрішнього згоряння тощо).

В основі вібродугового методу наплавлення — явище контактного зварювання металів та електричної дуги. Розроблений Г.П. Клековніним та І.Є. Ульманом цей спосіб наплавлення відрізняється від звичайних зварювальних процесів наявністю коливань електрода з частотою 50...100 Гц, низькою напругою джерела зварювального струму 12...24 і проводиться в струмені охолоджуючої рідини або в газових середовищах [31, 50, 70, 80 92, 107].

Крапля металу електродного дроту перетворюється на зварювальну ванну під час замикання електродного проміжку. Процес перенесення крапель характеризується циклічною зміною зварювального струму та напруги дуги. Наплавлений валік товщиною 0,5...2,5 мм інтенсивно охолоджується за рахунок тепловідведення в деталь, охолоджуючу рідину і отримує гартування, що призводить до виникнення напруженого стану самого шару, розвитку тріщин у наплавленому металі та зниження втомної міцності деталі (до 60%).

Підвищення якості наплавленого шару здійснюється застосуванням статичного та динамічного зміцнення в гарячому стані [99], електромагнітним впливом на процес формування шару [49, 92] та ін методами.

Для відновлення деталей машин застосовуються способи індукційного наплавлення [49, 80, 107], така наплавка заснована на використанні струмів високої частоти. Переваги даного методу: висока продуктивність процесу (до 20 кг/год); висока якість наплавленого шару за шорсткістю поверхні, хімічним складом, щільністю та однорідністю, незначне проплавлення основного металу (10... 15% товщини наплавленого шару) за високої міцності зчеплення зміцненого шару з матеріалом основи.

Індукційна наплавка знаходить широке застосування при відновленні та зміцненні деталей, схильних до інтенсивного абразивного зносу (плоских і внутрішніх циліндричних поверхонь) і в деяких умовах є єдиною прийнятною. Однак для деталей типу «вал» з малими величинами зносу її застосування обмежене складністю технологічного та особливостями металургійних процесів наплавлення (відставання температури шихти від температури основного металу).

Отримати покриття з високою твердістю та абразивною стійкістю, високою міцністю зчеплення [22, 27, 62] дозволяє застосування лазера. Для утворення покриттів, що компенсують знос, перед лазерною обробкою на поверхні деталей наноситься матеріал, що наплавляється, який може бути у вигляді порошків, стрічки, дроту і т.д.

Промінь лазера, проходячи по підготовленій поверхні, розплавляє присадочний матеріал і утворює шар заданого складу із заданими властивостями.

З метою зменшення термічного впливу зазвичай вибирають як присадковий матеріал сплави на основі нікелю, так як вони мають температуру плавлення за величиною нижче, ніж сталі, до того ж нікелеві сплави відрізняються високою стійкістю до зносу, корозії та міцністю. Однак вони порівняно дорогі [35, 36].

При лазерному наплавленні товщина покриттів, що забезпечує хорошу якість становить 0,1...1,0 мм. Твердість покриттів 8000...12000 МПа. Наплавлений шар має високий ступінь однорідності.

До дефектів в наплавленому шарі відносять наявність тріщин. У поверхневому шарі утворюються напруги, що розтягують, невеликої величини 100...800 МПа. Також процес лазерного зміцнення та відновлення потребує великих витрат електроенергії, дорогого обладнання та високої кваліфікації фахівців [24, 25, 27].

Перспективними при відновленні деталей є електроконтактне наплавлення та електромагнітне нанесення порошків. Сутність, супроводжуючі їх електрофізичні явища, оптимальні режими наплавки та експлуатаційні властивості відновлених деталей викладені у роботах Ю.М. Петрова [94], Ю.С. Тарасова [98], І.С. Ульмана [89] та ін.

До недоліків цих процесів слід віднести складність обладнання, механізації та дозування металевого порошку [73].

Усі дослідники [70, 80, 94] та інших відзначають, що з деталей, відновлених наплавкою, зазвичай, знижуються динамічна і циклічна міцність. Це пояснюється загальними недоліками, більшою чи меншою мірою властивим усім металопокриттям: неоднорідною литою структурою, що має порівняно низькі механічні властивості; наявністю різних дефектів зварювального або гартового характеру (пор, тріщин, шлакових включень тощо); збереженням у наплавному металі та зоні термічного впливу залишкових розтягуючих напружень. Залежно від виду та умов наплавлення основний вплив на якість металопокриттів можуть надавати ті чи інші причини. Тому для вирішення експлуатаційних показників машин при відновленні деталей застосовуються зміцнюючі методи обробки: поверхневе загартування з нагріванням СВЧ або газовим полум'ям; поверхневе пластичне деформування; електромеханічна обробка та інші. Застосування перерахованих прийомів зміцнення підвищує механічні властивості та довговічність металопокриттів, але потребує додаткових витрат під час ремонту. Разом з тим перераховані методи наплавлення не дозволяють, як правило, отримувати тонкошарові покриття, що призводить до нерационального використання дорогих легуючих елементів, що йдуть в стружку при механічній обробці.

У напрямку отримання тонкошарових високолегованих покриттів найбільш перспективними є електрофізичні способи наплавлення, такі як електроіскрове, електроімпульсне, лазерне і плазмове наплавлення [63].

Покриття, що одержуються цими способами, відрізняються високою міцністю зчеплення з матеріалом основи; як правило, не вимагають попередньої підготовки; можливе нанесення покриттів не тільки з металів та їх сплавів, а й з композиційних матеріалів; дозволяють отримати біметалічну деталь з пластичною та міцною серцевиною та твердою зносостійкою поверхнею.

Дослідженнями [59, 85] та ін. встановлено, що зносостійкість деталей, покритих твердим сплавом, підвищується в 2...6 разів і утворюється міцне

зчеплення покриття з вихідним матеріалом внаслідок дифузії зміцнюючого металу в поверхневий шар деталі.

При ручному електроіскровому нарощуванні низька продуктивність та якість покриттів [46, 58, 60, 65]. Механізація електроіскрового нарощування [75, 77, 78] розробкою установок типу ЭФИ-10М, ЭФИ-11Б, ЭФИ-66 інститутом Прикладної фізики академії наук Молдавської РСР спільно з ЦНИЛ - Електро дозволила підвищити продуктивність та якість покриттів [97]. Однак мала товщина шарів, що наносяться, і висока шерсткість поверхонь обмежують їх застосування у відновлювальній технології деталей спряжень. Продуктивність цих установок не перевищує $0,33 \dots 0,65 \cdot 10^{-4}$ м/с при товщині 0,2 мм по найбільш виступаючим гребням покриття і струму 50...150 А [13]. Підвищення продуктивності до $1,3 \cdot 10^{-4}$ м/с та товщині шару до 0,8 мм досягнуто на установці ИАС-3 конструкції ЦНИИГМАШ за рахунок споживання великої потужності джерела живлення (сила струму до 350 А, напруга до 50 В) [59].

Збільшення потужності імпульсів струму призвело до створення та розвитку електроімпульсного способу нарощування покриттів, в якому традиційно збережена схема електроіскрового легування шляхом періодичного контактування електрода з поверхнею відновлюваної деталі [51, 112].

При пропусканні струму великої потужності електрод оплавляється та переноситься на деталь у рідкій фазі. Електроімпульсне нарощування дозволило збільшити товщину шару, при цьому ускладнився технологічний процес, знизилася втомна міцність деталей до 30...70% [26], нерівномірно розподіляється твердість та неоднорідна мікроструктура покриття.

Найбільш важливе місце серед технологій відновлення та зміцнення поверхонь деталей машин останнім часом займає плазмове напалення та наплавлення [15, 29, 88]. Плазма являє собою високотемпературний сильно іонізований газ. Висока концентрація теплової енергії дає можливість використовувати її для нагрівання основного та присадкового матеріалу і завдяки цьому для отримання покриттів із матеріалів з високою температурою плавлення [75].

При плазмовому напиленні відсутнє проплавлення поверхневих шарів основного металу, покриття виходять пористими при низькій міцності зчеплення з основою. Як матеріали для отримання покриттів застосовуються: тугоплавкі метали (вольфрам $T_{\text{пл}} = 3410^{\circ}\text{C}$, молібден $T_{\text{пл}} = 2675^{\circ}\text{C}$ та ін); інтерметаліди CrBe_2 $T_{\text{пл}} = 1840^{\circ}\text{C}$, TaBe_2 $T_{\text{пл}} = 1830^{\circ}\text{C}$, ZrBe_{13} $T_{\text{пл}} = 1930^{\circ}\text{C}$ та ін; бориди - (ZrBe_2 $T_{\text{пл}} = 3040^{\circ}\text{C}$, MfBe_2 $T_{\text{пл}} = 3750^{\circ}\text{C}$ та ін); карбіди (B_4C $T_{\text{пл}} = 2470^{\circ}\text{C}$, ZrC $T_{\text{пл}} = 3375^{\circ}\text{C}$ та ін).

Відновлення деталей автотракторних двигунів методом плазмового напилення присвячено роботу О.М. Мосса [87], в якій показано, що плазмова технологія дозволяє отримати покриття з підвищеною зносокорозійною стійкістю, а також жароміцністю. Але цей спосіб поки не знайшов широке застосування. У роботі досліджено різні режими плазмового відновлення деталей двигунів автомобілів і тракторів у порівнянні з існуючою технологією відновлення зварюванням. Розроблено спосіб збільшення ресурсів відновлюваних деталей автотракторних ДВЗ з підвищеною міцністю зчеплення у 2 рази.

Стендові прискорені випробування двигунів СМД-60, 62, 64, а також КамАЗ-740, ЗИЛ-130 показали збільшення моторесурсу по відношенню до базового варіанта відновлення в середньому в 1,4 рази.

У роботі доведено, що напилення необхідно проводити закритим плазмовим струменем з подачею на поверхню деталі, що вийшла із зони плазмового напилення аргону, нагрітого до певної температури. Подібна суміш порошоків ПН-851015, ПР-НД42СР та ПР-Х4Г2РС2Ф у співвідношенні 2:1:1 дає збільшення міцності зчеплення з 58,9 МПа до 100 МПа при зменшенні товщини покриття з 1,5 до 0,3 мм.

1.3 Плазмове наплавлення та його різновиди

Аналіз розглянутих способів наплавлення показує, що здійснити процес наплавлення металів з регульованою температурою ванни можна, мабуть, лише в тому випадку, якщо джерелом теплоти для основного металу буде розплавлений і перегрітий до необхідної температури матеріалу присадки.

При застосуванні дугового розряду між електродом (що плавиться або не плавиться) і виробом фактично є два джерела теплоти: 1) власне дуговий розряд, 2) перегрітий електродний метал (у разі наплавлення електродом, що плавиться) або перегрітий присадочний метал (у разі наплавлення електродом, що не плавиться, з подачею присадочного дроту в зону дуги). Тому при застосуванні для наплавлення дугового розряду між електродом і виробом можна тільки певною мірою зменшити глибину проплавлення основного металу, але завжди буде рідка фаза основного металу.

В ідеальному вигляді необхідне джерело теплоти забезпечується при заливці на рідкий перегрітий виріб присадочного металу. Але наявні подібні способи наплавлення, як, наприклад, наплавлення струменем перегрітого металу, не мають достатньої для виробничих умов технологічності [21].

З виділенням плазмового струменя аргону зі стовпа дугового розряду було розроблено нові плазмові способи наплавлення. Плазма створюється дуговим розрядом, що збуджується між двома електродами, через який пропускається у вузькому порівнянні з діаметром стовпа дуги, каналі газ. Проходячи через стовп дугового розряду, газ внаслідок зіткнень із електронами сильно іонізується, утворюючи плазмовий струмінь. Висока концентрація теплової енергії в плазмовому струмені, стабільність дугового розряду, можливість легкого роздільного регулювання ступеня нагріву основного і присадного матеріалів зумовлюють переваги застосування плазми для наплавлення, особливо в тих випадках, коли метал, що наплавляється за складом і властивостями відрізняється від основного металу. При застосуванні плазмових способів наплавлення присадочний матеріал може подаватися у вигляді дроту або стрічки, а також у вигляді порошку.

Наплавлення з присадочним дротом або стрічкою може бути здійснено дугою прямої дії (залежною дугою) або незалежною дугою. У першому випадку дуга горить між вольфрамовим електродом та виробом, а присадковий дріт електрично нейтральний або підключається через баластовий опір до джерела живлення. Застосування такої схеми відоме [52, 61].

Однак через значне проплавлення основного металу її можна рекомендувати тільки для наплавлення металів, що не відрізняються за складом від металу виробу.

Спосіб наплавлення металів плазмовим струменем з струмопровідним присадочним дротом, аналогічний наплавлення подвійною незалежною дугою, але більш удосконалений, був розроблений в Інституті металургії ім. А.А. Байкова АН СРСР Ю.Л. Красуліним та Г.Д. Кулагіним [68].

Плазмовий струмінь, що виділяється з дугового розряду, є незалежним джерелом іонізації дугового проміжку між електродом, що не плавиться, і струмоведучим присадочним дротом, що сприяє стійкому збудженню і горінню дуги між неплаваючим електродом і дротом, виключає обриви дуги і дозволяє різко спростити кінематичну і електричну схему автомата для наплавлення.

Плазмове наплавлення із застосуванням присадочного матеріалу у вигляді порошку [38, 39, 45] може здійснюватися кількома способами.

Найпростішим є спосіб наплавлення по шару крупнозернистого порошку (крупки). У цьому випадку порошок заздалегідь насипається на поверхню, що наплавляється, а плазмова дуга, що горить між електродом і виробом, розплавляє його.

При наплавленні з подачею порошку у зварювальну ванну дуга горить між електродом та виробом. У виробі утворюється ванна основного металу, куди подається порошок тугоплавкого металу. Спосіб цей застосовується тоді, коли необхідно, щоб матрицю металу виробу були вкраплені частинки тугоплавких матеріалів.

Наплавлення з вдунням порошку в дугу передбачає подачу порошку в плазмовий струмінь, плавлення його в цьому струмені та перенесення на поверхню виробу, підігріту та оплавлену дугою прямої дії.

Плазмове наплавлення із застосуванням в якості присадочного матеріалу порошкових сплавів завдяки мінімальному проплавленню основного металу забезпечує отримання деталей з високими фізико-механічними властивостями за рахунок зменшення величини струму, прискорення переміщення плазмотрона по відношенню до поверхні.

Таким чином, для з'єднання різнорідних металів з існуючих способів кращі результати отримані при наплавленні плазмово порошковими матеріалами. Технологічність процесу, простота пристрою, можливість регулювання параметрів процесу наплавлення та забезпечення високих фізико-механічних властивостей металу наплавлення та наплавленого виробу при високій ефективності процесу дозволяють рекомендувати плазмове наплавлення металів для широкого застосування в різних галузях промисловості.

1.4 Матеріали для плазмового наплавлення

Для відновлення швидкозношуваних деталей тракторів, автомобілів, сільськогосподарських машин і т.д. широко застосовується зносостійке наплавлення. Таке наплавлення здійснюється різними твердими сплавами: литими (стеліт, сормайт), трубчастими (реліт), порошковими (сталініт, сормайт, боридохромові суміші).

Плазмове наплавлення твердих сплавів, що розглядаються, може бути здійснено як за схемою наплавлення з струмопровідним присадочним дротом (у разі застосування литих або трубчастих сплавів), так і за схемою наплавлення порошками.

Так як дріт з литих і трубчастих сплавів дорогий у виготовленні, замість присадочного дроту застосовуються присадочні струмопровідні прутки. Присадочний пруток подається до плазмового струменя між двома напрямними роликками по напрямній мідній трубці [100].

Для наплавлення з струмопровідними присадочними прутками використовувалися тверді сплави, хімічний склад яких і діапазон режимів заданими [95] наведено в табл. 1.1.

В якості плазмоутворювального і захисного газу застосовується аргон. При наплавленні залежно від струму та швидкості наплавлення глибина проплавлення становила 0,2...2,0 мм (сормайт, стеліт), 0,5...2,2 мм (реліт), ширина валика 10...14 мм (реліт) при наплавленні без коливань і 16...20 мм (сормайт, стеліт) при наплавленні з коливаннями, висота валика 0,5...2 мм (реліт), 2,0...3,0 мм (сормайт), 2,0...4,0 мм (стеліт) [94].

Дослідженнями встановлена можливість наплавлення тугоплавких металів у плазмовому струмені з струмопровідними та неструмопровідними присадочними дротами. Як струмопровідний застосовувався дріт Св-08А \varnothing 1,6 мм, як неструмопровідний - вольфрамовий або молибденовий дроти \varnothing 1,2-1,6 мм, а також релітові прутки. Наплавлення здійснювалося на режимах: $I_1 = 120-140$ А, $U = 46-48$

В. Результати такі ж, як і при наплавленні з струмопровідним присадочним дротом.

Таблиця 1.1

Хімічний склад прутків та режими плазмового наплавлення твердих сплавів

Сплав	Вміст елементів в %								Режими наплавлення			
	C	Cr	Ni	Mn	Si	Co	W	Fe	I_1 А	I_2 А	Q_1 В л/год	v_H м/хв
Сормайт 1	2,5- 3,5	25- 31	3,5	До 1,5	2,8- 4,2	-	-	54-56	200- 300	40	100- 150	0,12- 0,25
Стелліт ВЗК	1,0- 1,5	32- 92	До 2,0	-	До 2,5	58- 62	4,0- 6,0	Інше	200- 300	40	100- 150	0,12- 0,25
Реліт 3-6	4	-	-	-	-	-	95	Інше	150- 280	40	100- 50	0,15- 0,30

Таблиця 1.2

Хімічний склад деяких порошків, що застосовуються

для плазмового наплавлення [28, 29]

Порошок	Вміст в %									
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Co	W	V	B	Fe
ЛП1	4,60	1,83	6,94	39,00	-	-	-	-	-	Основа
ЛП3	5,25	0,22	0,77	39,18	-	-	-	-	5,2	Основа
ЛП5	2,34	0,42	-	27,50	-	18,74	13,35	9,42	-	-
ЛП6	0,42	5,19	0,06	13,20	Основа	-	-	-	-	-
ЛП7	3,73	1,00	1,00	33,95	Основа	17,20	-	-	-	-
ЛП8	1,15	0,72	0,86	31,40	-	-	4,30	-	-	-
КХН	11,30	-	-	73,70	15,0	-	-	-	-	-
С17	0,58	15,80	0,72	-	-	-	-	-	-	Основа
НГ-ХН80СР2	0,3- 0,6	1,5- 3,0	-	12-15	Основа	-	-	-	1,5- 2,5	5
ПГ-ХН80СР3	0,4- 0,8	2,5- 4,5	-	12-16	-	-	-	-	2-3	5

ПГ-ХН80СР4	0,6-1,0	3-5	13-17	-	-	-	-	2,5-4	5
ПФ-УЗОХ28Н4С4	2,5-3,3	2,8-4,2	1,5	25-31	3-5	-	-	-	Основа

Таблиця 1.3.

Хімічний склад деяких порошків, що застосовуються для наплавлення сталевих валів плазмовим наплавленням

Порошок	Вміст в %									
	C	Si	Mn	Cu	Ni	Mo	S	P	B	Fe
ПР-Н4Д2М	0,12	0,20	0,21	1,51	3,54	0,56	0,018	0,022	-	Основа
ФБХ-6-2	5,25	1,69	3,11	-	-	-	0,36	0,27	1,72	Основа

У ряді випадків з наплавлювального сплаву важко виготовити дріт, стрічку або навіть прутки. Тоді для плазмового наплавлення як присадочний матеріал можуть застосовуватися металеві порошки [38, 39, 75, 79].

Способи наплавлення із застосуванням порошків зручно застосовувати і тоді, коли необхідно отримати тонкий (менше 1 мм) шар металу наплавлення.

При напавленні шаром порошку [38, 39] присадкою служить крупнозернистий порошок необхідного складу. Такий порошок або заздалегідь насипається на поверхню, що наплавляється, або подається в зварювальну ванну з живильника безпосередньо в процесі наплавлення. Склад деяких, що застосовувалися для наплавлення порошків наведено у табл. 1.2.

Найчастіше для плазмового наплавлення застосовуються порошки на основі нікелю, кобальту або заліза. Присадки бору та кремнію знижують температуру плавлення сплаву, що дозволяє отримати тонкий шар металу наплавлення при малому (менше 10%) ступеню проплавлення основного металу. У той же час домішки бору та кремнію підвищують твердість та зносостійкість металу наплавлення. Такі сплави жаростійкі до температури 950°C, зберігають високу твердість при нагріванні до 750°C і мають хорошу корозійну стійкість у розчинах NH₄Cl, KCl, NaOH, 10%-ної сірчаної кислоти та інших середовищах [38]. Тому хромонікелеві сплави з бором і кремнієм знайшли широке застосування для

наплавлення клапанів двигунів внутрішнього згорання, поршнів кислотних насосів
і т.д.

Порошки марок ЛП11-ЛП18 виготовлялися дробленням литої стрічки, порошок марки КХН – дробленням металокерамічних заготовок з карбиду хрому з нікелевою зв'язкою, порошок марки С17 – дробленням бою лиття із феросиліциду.

Завдяки можливості регулювання глибини проплавлення основного металу шляхом зміни режиму наплавлення за даними [39] частку основного металу металу наплавлення вдалося знизити до 5-10%. За один прохід наплавлявся валик завтовшки до 5-6 мм і шириною (при застосуванні поперечних коливань зварювальної головки) до 50-60 мм. Валики мали хороше формування та хорошу якість металу наплавлення із застосуванням порошку ЛП3.

Плазмове наплавлення за способом вдування порошку в струмінь може застосовуватися для наплавлення на основний метал як легкоплавкіших, так і більш тугоплавких сплавів. Досяжна мінімальна товщина наплавлення за даними [90] складає 0,25 мм. В роботі [39] мінімальний шар наплавлення 0,5 мм, максимальний при напавленні в один прохід становить 5-6 мм. Для наплавлення за способом вдування порошку в плазмовий струмінь можуть застосовуватися ті ж порошки, що і при напавленні шаром порошку. Якість наплавлення при цьому хороша.

Наплавлення порошку твердого сплаву на основі кобальту складу в (%): Co42; Cr19; W15; C1,5; Ni13; Si3; B3 на котельну сталь виконувалось [98] способом вдування порошку в плазмовий струмінь. Висота валика над поверхнею підкладки становила при цьому близько 2,1 мм. Твердість металу наплавлення на зовнішній поверхні становила $HV_{0,2} 750$ і залишалася постійною до глибини 2,6 мм, а потім поступово знижувалася до величини, відповідно твердості металу підкладки. При напавленні порошку складу в (%): Co50; Cr 19; W 8; C1; Ni13; Si 2,5; B1,5 твердість на зовнішній поверхні аналогічного за розмірами валика складала $HV_{0,2} 450$.

При напавленні вдуванням в струмінь порошку ЛП6 (див. табл. 1.2) [39] отримано валик заввишки до 6 мм і завширшки до 40 мм. Зменшенням струму обох дуг ($I_{н1}$ до 50 А та $I_{н2}$ до 90-100 А), збільшенням швидкості наплавлення до 7,8 м/год та зменшенням витрати порошку при збереженні інших параметрів режиму

попередніми вдалося забезпечити отримання валика висотою до 1 мм при ширині до 40 мм.

Втулки з маловуглецевої сталі $\varnothing 90$ мм наплавлялися [38] методом вдування порошку ПГ-ХН80СР2 в дугу. Продуктивність наплавлення становила 2 кг/год.

При наплавленні для запобігання утворенню тріщин застосовувався попередній та супутній підігрів виробу до 400-450 °С.

Для плазмового наплавлення сталевих колінчастих валів застосовують склад порошкового матеріалу, що складається з механічної суміші двох частин (за об'ємом) порошкового матеріалу марки ПР-Х11Г4ССР ТУ 14-22-26-90, з трьома частинами (за об'ємом) порошкового матеріалу марки ПЖ-Н4Д2М ТУ 14-43-93-87 або ПДЖ-Н4Д2М ТУ 08-437-95.

Для чавунних колінчастих валів склад порошкових матеріалів ПР-Н9Г4ССР ТУ 14-22-26-90 з двома частинами (за об'ємом), ПЖ-Н4Д2М ТУ 14-43-93-87 або ПДЖ-Н4Д2М ТУ 08-437-95.

Гранулометричний склад порошкових матеріалів від 40 до 200 мкм.

Ці порошкові матеріали відрізняють хороша зчеплюваність шару з основним металом, малі припуски на подальшу обробку, високу якість наплавленого шару [99].

Плазмове наплавлення із застосуванням присадних матеріалів як порошкових сплавів забезпечує високу якість наплавленого металу. Так, наплавлений порошком ЛП8 метал за хімічним складом відповідає кобальтовому стеліту. Порошки ПГ-У3ОХ28Н4С4 та ЛП3 призначені для наплавлення деталей, що працюють в умовах абразивного зношування [38]. При наплавленні сплавів на основі кобальту з добавками хрому (21-32%), вольфраму (4-17%), вуглецю, кремнію, марганцю, заліза, нікелю, бору забезпечується твердість наплавленого шару HRC 32-52, на основі нікелю - HRC 34 -54, на основі заліза - HRC 55-63.

1.5 Висновки. Мета та завдання досліджень

1. Для відновлення деталей машин застосовуються різні види наплавлення: індукційне за допомогою променя лазера; електроконтактне та електромагнітне нанесення порошків; електроіскрове, електроімпульсне та плазмове.

2. У деталей, відновлених наплавленням, як правило, знижуються динамічна і циклічна міцність, що пояснюється наявністю пор, тріщин, шлакових включень, збереженням у наплавному металі та зоні термічного впливу залишкових розтягуючих напружень.

3. Покриття, одержувані лазерним та плазмовим наплавленням, відрізняються високою міцністю зчеплення з матеріалом основи, як правило, не вимагають попередньої підготовки, можливе нанесення покриттів з металів, їх сплавів та композиційних матеріалів, дозволяють отримати біметалеву деталь з пластичною та міцною серцевиною та твердою зносостійкістю поверхнею,

4. Для плазмового наплавлення застосовуються порошки на основі нікелю, кобальту та заліза. Присадка бору та кремнію знижують температуру плавлення сплаву, що дозволяє отримати тонкий шар металу наплавлення при малій мірі (менше 10%) проплавлення основного металу. Домішка бору підвищує твердість та зносостійкість металу наплавлення.

5. Аналіз літературних джерел показав, що є ще резерв для підвищення ефективності використання плазмового наплавлення шляхом комбінованих композиційних порошкових матеріалів з включенням бору, кремнію та інших елементів.

Метою магістерської роботи є підвищення зносостійкості та довговічності відремонтованих деталей типу «вал» машин сільськогосподарського призначення шляхом удосконалення технології плазмового наплавлення.

На підставі проведеного аналізу, у магістерській роботі сформульовано такі завдання досліджень:

1. Обґрунтувати процентний вміст легуючих елементів та елемента активатора в порошковій суміші, для забезпечення підвищеної твердості та зносостійкості деталей після плазмового наплавлення.

2. Визначити основні параметри режиму плазмового наплавлення, для отримання якісних шарів та міцного зчеплення металопокриття з металом деталі.

3. Уточнити функціональну залежність швидкості наплавлення від діаметра валу, що наплавляється.

4. Провести порівняльні експериментальні дослідження якості відновлення

колінчастих валів плазмовим наплавленням з дослідним та стандартним порошками.

НУБІП Україні

НУБІП Україні

НУБІП Україні

НУБІП Україні

НУБІП Україні

НУБІП Україні

НУБІП Україні

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЛАЗМОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ПОРОШКОВИМИ СУМІШАМИ

2.1 Активуєчі добавки при наплавленні порошкових сумішей

У плазмі присутні частинки з різними властивостями та законами взаємодії (молекули, атоми, іони, електрони), у ній відбуваються різноманітні процеси перенесення (теплопровідність, електропровідність, випромінювання, дисоціювання та взаємодія з навколишнім середовищем, зміна хімічного та фазового складу) [48], а введення комплексного матеріалу (металевого сплаву, композиційного матеріалу або хімічної сполуки) з елементами, що зазнають різних багаторазових поліморфних перетворень - це додатковий обурюючий фактор і без того різноманітної картини взаємодії різних процесів у плазмовому стовпі [30].

Теоретичні дослідження та узагальнення Г.В. Самсонова та ін [92] відносять до таких, за допомогою яких стає можливим проводити попередній вибір оптимальних матеріалів та режимів обробки. У названій роботі зазначається, що у зв'язку з різними потребами питання вибору матеріалів у більшості випадків потребують спеціальних досліджень.

У цій роботі нами в основу теоретичних досліджень покладено використання активуючого впливу хімічних порошкових елементів сумішей на процес формування щільних відновлювальних металопокриттів плазмовим наплавленням з подачею порошку в робочу зону та оптимальних режимів формування шару [12, 29, 97, 99]

Активуєчі добавки при наплавленні та напіканні порошкових сумішей впливають двома шляхами: прямим впливом на процес припикання частинок основного компонента один до одного та до основи так за рахунок дегування контактних ділянок. Введення в порошкову систему добавок призводить до дифузійних потоків, обумовлених градієнтами концентрацій та градієнтом температури (термодифузія) [49]. У разі прогрівання порошкової системи з більшою швидкістю нагріву всієї маси частинок порошку висока міра неоднорідності електропровідності та теплопровідності системи контактів повинні призвести до суттєво неоднорідного поля температур. Тому додавання елементів-

активаторів з різко відмінними параметрами електро- та теплопровідності, а також їх специфічні властивості у конкретних умовах ведення процесу активують процес отримання необхідних властивостей металопокриттів [49].

Такими активаторами є кремній, бор та алюміній, застосованих у роботах Ю.П. Александрова [13] та В.П. Ананьєва [16].

Кремній і особливо бор мають високу розкислювальну здатність. Частинки активаторів у порошковій суміші стають центрами різко підвищеної дифузійної активності [49]. Введення в шихту активних добавок бору та кремнію наводить [40, 73, 79]: до розкислення та відшарування окисних плівок (аналогічно пайці та дифузійному зварюванню) та до появи з цим активних атомів металу і нерівноважної спотвореної кристалічної решітки при поверхневому шарі частинок, до утворення твердих розчинів та легкоплавких евтектик (наприклад, боридної з температурою плавлення 1174 °C); до зниження коефіцієнта поверхневого натягу.

Бор і кремній з киснем утворюють склоподібні сполуки [40,88], які оберігають матеріал шару та основи від подальшого окислення при високих температурах, обмежуючи доступ кисню до шару. При цьому створюється ефект «обмеженого простору», в якому діє механізм очищення поверхні в малих обсягах.

Крім того, з'єднання типу боросилікатні стекла мають високу здатність зберігатися, не виявляючи ознак кристалізації при тривалому впливі високих температур. Додатковим позитивним фактором застосування бору та кремнію є їхня висока легуюча здатність.

Активування системи можливе за рахунок використання хімічних елементів як підшар, що забезпечує міцне зчеплення одержуваних металопокриттів з основним металом. Шляхом використання нікель-фосфорного підшару (близько 88% Ni та 9-10% P) можна знизити температуру отримання шару з шихти з вищою температурою перемішування [19].

Наприклад [18], рідка фаза із застосуванням нікель-фосфорного підшару при отриманні нікель-хромового шару (Ni-70%, Cr-20%) утворюється, починаючи з температури близько 900 °C (шлікерний спосіб отримання покриттів).

Підвищення активності порошкової системи можна досягти також хімічною обробкою порошку [17].

Однак уже перші спроби отримати щільні відновлювальні покриття, здатні працювати в парах тертя, шляхом використання захисно-відновлювальних середовищ [33], зниженням температури плавлення порошку за рахунок порошкових сумішей, що самофлюсуються, з використанням вище зазначених активуючих добавок [13] свідчать про те, що для активації методу плазмового наплавлення потрібні інші умови, ніж при зварювальних процесах. Так як бор і кремній, що застосовуються в порошкових сумішах в умовах великих швидкостей нагріву, стають центрами різко підвищеної дифузійної активності [49], що небажано при плазмовому наплавленні, що має основну відмінність від вище зазначених - високу дифузію елементів розпорошеного порошку в основу відновлюваної деталі при низькій активності в поверхневому нарощеному шарі.

Для тугоплавких сполук - карбідів і боридів - ерозійна стійкість розглянута в роботах [20, 64], їх низька ерозійна стійкість пояснюється високою крихкістю цих матеріалів. Матеріал анода відколюється шматками значної величини від 0,5 до 1,0 мм. При цьому в загальному обсязі продуктів ерозії значне місце займають частинки, що утворилися внаслідок крихкого руйнування, кількість частинок з краплинного стану незначна. Разом з тим зменшення розмірів та кількості частинок крихкої руйнації спостерігається при переході до карбідів та боридів металів від IV до V та VI груп.

Підвищення ерозійної стійкості тугоплавких сполук, зниження частки крихкої руйнації та одночасне збільшення коефіцієнта перенесення матеріалу, його щільності можливе за рахунок введення пластичних низькоерозійних добавок заліза, кобальту або нікелю [82]. Причому введення як зв'язки нікелю, що має найбільші акцепторні властивості, зменшує ерозію значно інтенсивніше, ніж введення кобальту або заліза. Разом з тим авторами зазначено, що введення пластичної зв'язки позитивно впливає при її певній межі 10...30% з утворенням високих зв'язків тугоплавких сполук у м'якій основі. Подальше підвищення відсоткового вмісту зв'язки сприяє зниженню міцності зв'язку між карбідними частинками, структура шару характеризується високою несплошністю, наявністю великої кількості тріщин, раковин, порожнин [34]. Така структура шару, на думку авторів [102], утворилася внаслідок того, що складові зміцнюючого електрода

мають істотно різні температури плавлення і при температурах, коли карбідні частинки тільки розм'якшуються і закріплюються на підкладці, металеві складові анода можуть закипати і випаровуватися, порушуючи при цьому зв'язок між окремими карбідними частинками і знижуючи цим суцільність і міцність шару. Ці

ж автори рекомендують враховувати, що чим вище вихідна крихкість тугоплавкого з'єднання, тим при більшому вмісті добавки, що пластифікує, композиційний матеріал забезпечує якісне проведення процесу зміцнення. Зміст зв'язки впливає на перенесення металу. При введенні пластичних добавок до 20...25% коефіцієнт перенесення різко зростає до значень, які відповідають чистим металам. У разі підвищення вмісту зв'язки понад 25...30% значення коефіцієнта перенесення стабілізується.

Міцність зв'язку переносного матеріалу з металом підкладки визначається характером взаємодії матеріалу анода і катода: чим більша схильність матеріалу анода до утворення твердих розчинів з матеріалом катода, тим міцніше цей зв'язок.

При зміцненні металами, що мають обмежену розчинність з матеріалом катода Ti, Nb, Ta, Mo, W зчеплення нанесеного шару менш міцне, внаслідок чого відбувається відшаровування покриття в більшості випадків разом із матеріалом катода. При зміцненні катода матеріалами, що утворюють з ним тверді необмежені розчини Ni, Cr, C, V, утворюється покриття без видимих тріщин і раковин [82, 83].

Твердість шару під час зміцнення металами залежить від складу порошку. Умови ведення процесу: зміна режимів (сили струму, напруги, питомої тривалості процесу) та застосовувані середовища мають значний вплив на ерозію матеріалу, його перенесення та якість металопокриттів.

2.2 Необхідні умови здійснення експериментального дослідження та активування способу плазмового нанесення металопокриттів

Підсумовуючи думку різних авторів, у цій роботі під час розгляду питань активування та оптимізації процесу нанесення тонкошарових металопокриттів ми виходили з таких положень:

- плазмове напавлення є високоенергетичним процесом, що характеризується високою температурою нагрівання елементів порошкових

сумішей, їх швидким охолодженням, високою швидкістю проходження металу вздовж фронту кристалізації і, відповідно, малою довжиною фазних областей,

- висока температура нагріву застосовуваних порошкоподібних матеріалів (сумішей) впливає на рухливість атомів та вакансій [98], що призводить до превалюючого дифузійного процесу елементів в основний метал, його армування без створення щільних поверхневих покриттів;

- застосування наплавних порошкових твердих сплавів (сумішей), що випускаються промисловістю, на основі заліза або нікелю не дозволяє отримати щільне наплавлення для роботи в умовах пар тертя;

- подача порошкових сімей у зварювальну ванну [90] дозволяє керувати швидкістю кристалізації, а також величиною глибини проплавлення основного металу;

- зі збільшенням сили струму та напруги джерела живлення ерозія безперервно зростає і при значних їх величинах відбувається вигорання поверхневих шарів металу;

- при різних процесах утворення пор пов'язане з умовами насичення металу газами та виділенням газових бульбашок при кристалізації внаслідок зниження розчинності газів у процесі затвердіння зварювальної ванни. Головну роль у пореутворенні відіграють водень, азот та окис вуглецю [11, 44, 92, та ін]. Однак питання утворення пор до теперішнього часу не може вважатися зрозумілим [98], тому вплив різних технологічних факторів на процес пореутворення зазвичай визначають експериментально.

Розглядаючи ці умови, а також дослідження щодо активування у сфері напкання Ю.С. Тарасова та Г.М. Ульмана [92], Н.М. Дорожкіна [49], за характером формування та проплавлення за різних способів наплавлення В.М. Кряжкова [69], зниженню температурного впливу на основу деталі в умовах безперервної подачі порошку у зварювальну ванну І.І. Сафронова та К.Г. Сабєєва [90] нами прийнято функціональну схему формування якісних нарощених шарів, представлену на рис.

2.1. Порівняно з раніше розробленими технологіями вона враховує необхідність:

- застосування складів розпорошених порошків відповідно до раціонального методу легування в умовах формування металопокриттів плазмовим наплавленням;

- вибору та обґрунтування швидкості нанесення рівнотовщинних шарів на деталі різних діаметрів;

- пристрої та способу дозування порошку в зону обробки;

- способу формування металопокриття по-гвинтовій лінії.

Проведені попередні дослідження щодо здійснення процесу формування шару плазмовим способом із застосуванням добавки бору на поверхні деталей зразків дали обнадійливі результати. У ряді випадків при різних швидкостях нанесення покриттів були отримані наплавлені шари різної щільності, товщини і глибини проплавлення основного металу [9].

Вибір нікелю як додатковий до заліза сполучного елемента у складі комплексної зв'язки визначений багатьма його позитивними властивостями. Він займає особливе місце серед легуючих елементів, які не утворюють карбідів. Його введення до складу сплавів дозволяє змінювати склад матриці - основи, підвищити її в'язкість та покращити тим самим закріплення твердих фаз та ударостійкість [82].

Нікель дозволяє використовувати всі переваги зменшення швидкості охолодження. Сюди відноситься, наприклад, зниження температури A_g і можливість гартування при таких низьких швидкостях охолодження, при яких зменшуються гартувальні напруження, короблення, а також небезпека виникнення тріщин. Зниження температури A_g за будь-якого способу охолодження призводить до подрібнення зерна і карбідних виділень [45]. Дослідження автора [98] показали, що легування нікелем може дуже сильно підвищувати температуру (поріг) рекристалізації, в результаті цього відношення температури рекристалізації до температури плавлення не становитиме 0,4 T плавлення, як це передбачає правило А.А. Бочвара [88] для чистих металів, а буде вищим - близько 0,6 і навіть 0,8 T плавлення сплаву.

Нікель необмежено розчиняється в залізі, причому нікелевий аустеніт, що розчиняє велику кількість вуглецю без утворення карбідів, має високу пластичність

і низьку твердість [96], а його присутність у зоні сплавлення замість крихкого маргеніту позитивно впливає на металокриття [82].

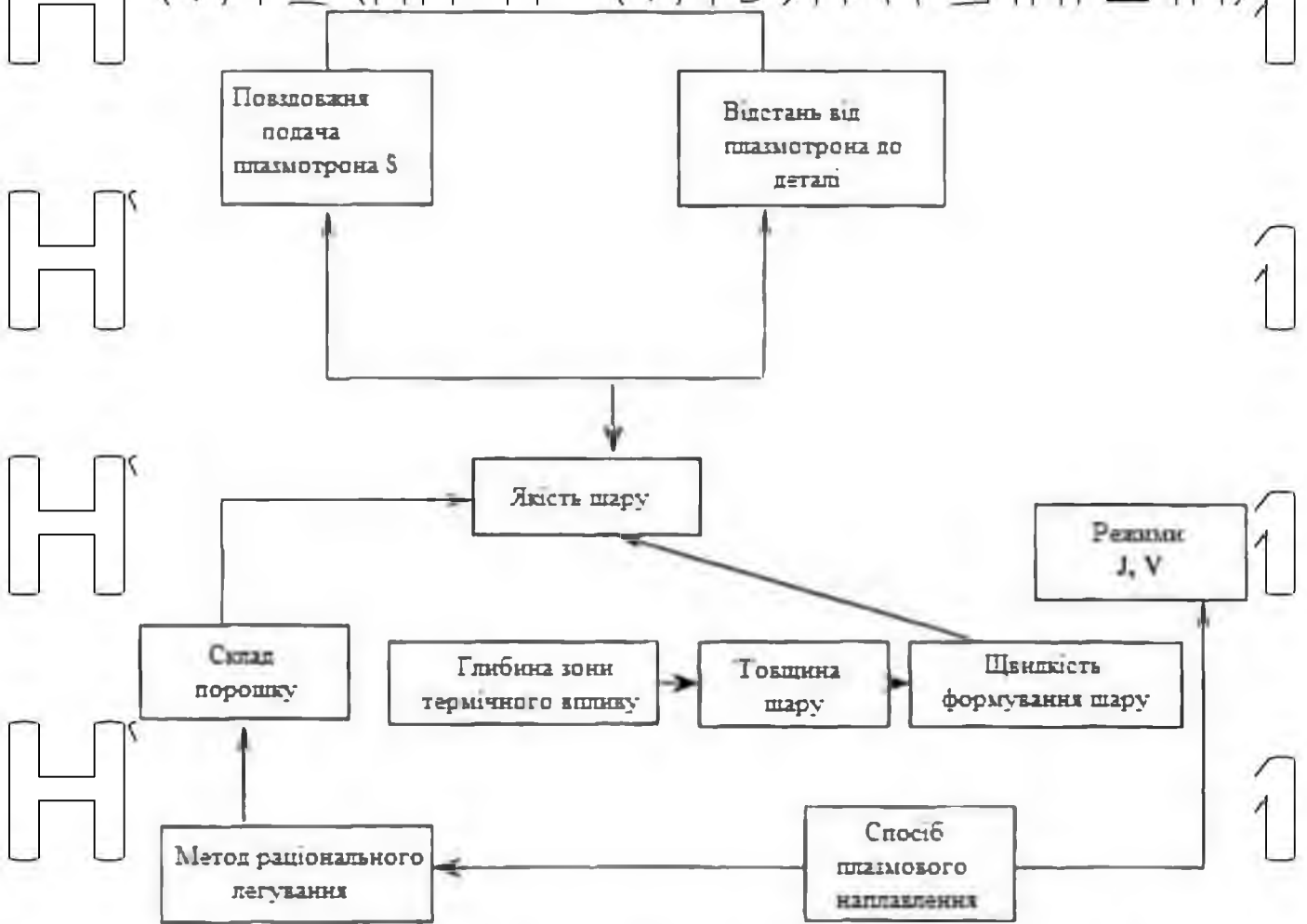


Рис. 2.1. Функціональна схема формування металокриттів

У потрійних системах (Fe-Cr-Ni) зустрічаються суто феритні і суто аустенітні сплави, а також сплави з багатофазною структурою [45].

Розроблений нами найбільш прийнятний склад основи порошкової суміші містить сполучні елементи у таких межах: заліза 59...60%, нікелю 24...25%, кремній 5...6%, бор 1%, марганець 2...3%.

Зазначений склад отримали за рахунок введення в самофлюсуючий порошковий сплав типу ПР-Н4Д2М необхідних елементів.

2.3 Сутність плазмового наплавлення

Принцип плазмового наплавлення показаний на рис. 2.2. У намеру функціонування електрода К подається плазмоутворюючий газ, що не проводить

електричний струм. Потім натискається кнопка "ПУСК" на пульті керування. У проміжку електрод – верхній зріз каналу сопла виникає високівольтний розряд осцилятора. Плазмоутворюючий газ, що проходить через нього, частково іонізується і набуває властивостей провідника електричного струму, створюючи сприятливі властивості збудження малоамперної чергової дуги. Через 1-2 сек.

виникає чергова дуга, що живиться від джерела живлення ВДУ-506 через обмежувальний опір R. Осцилятор відключається. Плазмоутворюючий газ, що проходить через електричний дуговий розряд чергової дуги, іонізується утворюючи потік плазми, який цим же газом видувається (в виді факела) і торкається виробу. У момент дотику миттєво збуджується основна стиснута дуга між електродом та виробом (прямої дії). Під впливом енергії стиснутої дуги плазмоутворюючий газ перетворюється на плазму.

Після збудження стиснутої дуги автоматично вимикається чергова дуга.

У цей момент включається подача порошку, який безпосередньо надходить у стислу дугу, нагрівається, плавиться тепловою енергією стисненої дуги і переноситься на поверхню деталі, що наплавляється. При плазмовому наплавленні процеси розплавлення основного та наплавних матеріалів взаємопов'язані.

Оптимальне співвідношення між ними характеризується мінімальною глибиною проплавлення, необхідною товщиною наплавленого шару.

Після натискання «СТОП» - відключається джерело живлення, стиснута дуга і за кілька секунд – плазмоутворюючий газ.

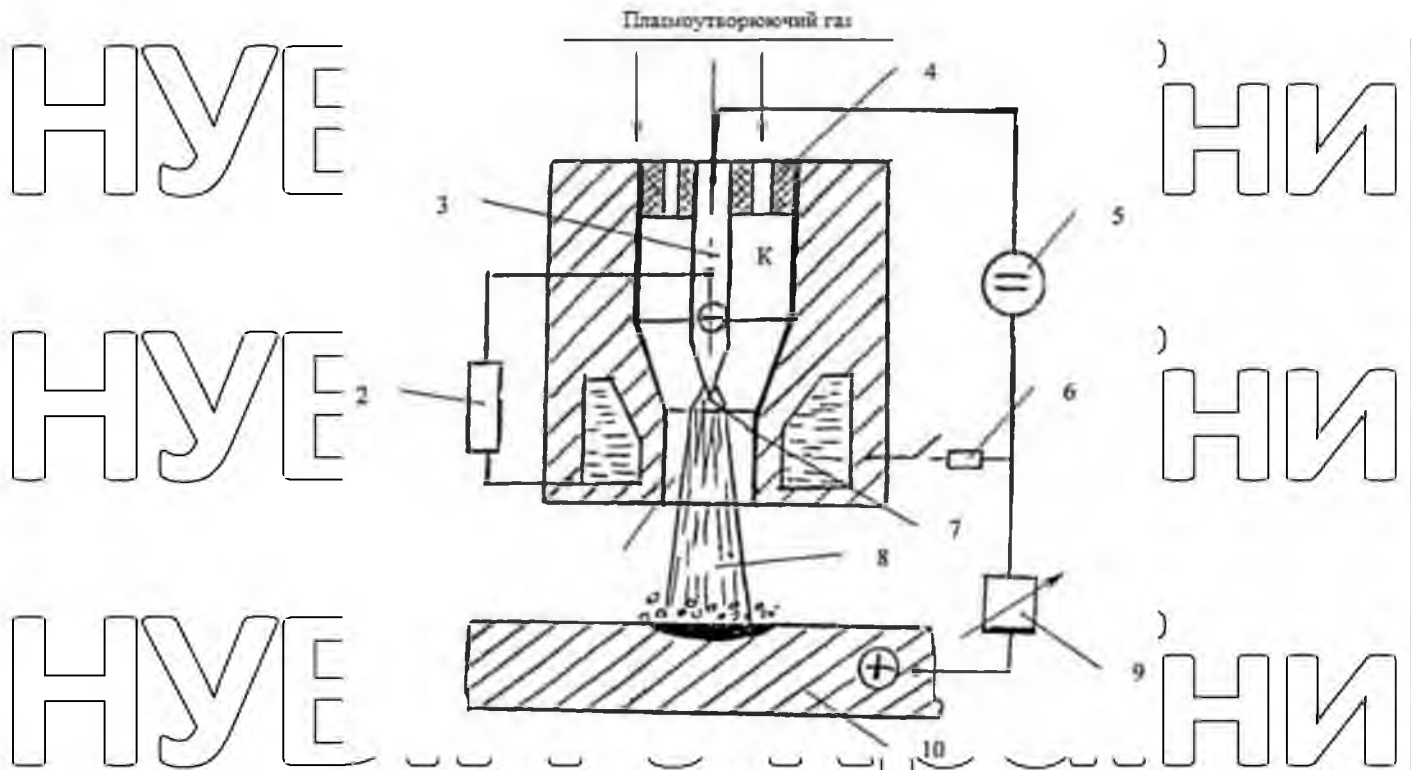


Рис. 2.2. Принципова схема плазмового наплавлення

1 - канал сопла, 2 - осцилятор, 3 - електрод, 4 - ізолятор, 5 - ПІ, 6 - R, 7 - чергова дуга, 8 - стисла дуга, 9 - баластний опір, 10 - виріб.

2.4 Визначення параметрів плазмового наплавлення

Якість наплавленого металу залежить від багатьох параметрів [13, 41]:

1. Сили струму стиснутої дуги $I_{\text{д}}$, А.

$$I_{\text{д}} \approx 40 \sqrt{D} \quad (2.1)$$

2. Напруги дуги, $U_{\text{д}}$, В.

3. Витрати плазмоутворюючого газу $Q_{\text{п}}$, л/хв.

4. Витрати транспортуючого (захисного) газу $Q_{\text{тп}}$, л/хв.

5. Частоти обертання деталі n , об/хв.

$$\left(n = \frac{1000 \cdot V_{\text{н}}}{60 \cdot \pi D} \right), \quad (2.2)$$

де D - діаметр деталі;

$V_{\text{н}}$ - швидкість наплавлення.

6. Діаметр каналу сопла

$$d_{\text{с}} = (1 \dots 1,2) \cdot d_{\text{к}}, \quad (2.3)$$

де d_k - діаметр катода дорівнює 3 мм.

7. Довжини каналу сопла, поглиблення електрода в канал

$$L_k = (1,1 \dots 1,3) \cdot d_k \quad (2.4)$$

8. Швидкість подачі порошку (витрата порошку пр/хв) $Q_{\text{пор}}$.

9. Розмір гранулометричного складу (має бути 40-200 мкм).

10. Крок наплавлення (величини перекриття валиків $m = 0,4 \dots 0,7$) мм.

11. Величина зміщення плазмотрону з zenіту Z визначається кутом осі електрода до виробу $18-22^\circ$. Це необхідно для кристалізації зварювальної ванни і запобігання стіканню металу.

Збільшення $I_{\text{сп}}$ призводить до перегріву наплавленого металу і збільшення проплавлення основного металу (приводить до утворення гарячих тріщин.)

Стабільність процесу наплавлення та якість наплавленого шару значною мірою залежать від витрати плазмоутворювального та захисного газу, надмірна витрата якого призводить до видування рідкого металу або порошку. Потік захисного газу повинен витікати з сопла ламінарно та надійно захищати краплі розплавленого металу та всю розплавлену ванну від зіткнення з повітрям.

Швидкість наплавлення (лінійна) стала, змінюється лише частота обертання деталі залежно від її діаметра (формула 2.2).

Занадто велика швидкість веде до порушення формування поверхні і нерівномірної ширини шару, що наноситься.

Швидкість наплавлення у прямій залежності від частоти обертання деталі та швидкості закінчення (подачі) порошку.

При дотриманні техніки та виборі оптимальних параметрів режиму наплавлені вироби мають високі технологічні властивості

Витрата плазмоутворюючого газу 5... 6 л/хв.

Витрата газу, що транспортує, 0,5... 1 л/хв.

Крок наплавлення (подача) 2,5... 3 мм/об.

Витрата порошку 2-го шару (при необхідності 10... 20 г/хв).

2.5 Режими наплавлення

При напавленні вуглецевої сталі зварюваність оцінюють за вуглецевим еквівалентом [87]

$$C_e = C + \frac{1}{6} Mn + \frac{1}{24} Si + \frac{1}{40} Ni + \frac{1}{5} Cr + \frac{1}{4} Mo + \frac{1}{50} B; \quad (2.5)$$

У зоні, що примикає до напавленого шару, відбувається зміна властивостей основного металу під впливом теплоти процесу напавлення. У цій зоні, яка називається зоною термічного впливу, метал має максимальну твердість і найбільшу чутливість до тріщин.

Підвищення вуглецевого еквівалента основного металу супроводжується максимальним підвищенням твердості у зоні термічного впливу.

Тому при напавленні вуглецевої сталі вуглецевий еквівалент є показником, що використовується для оцінки зварювальних властивостей металу.

Між вуглецевим еквівалентом та максимальною твердістю в зоні термічного впливу існує практично лінійна залежність

$$H_{\max} = (600C_e - 40) \pm 40, \quad (2.6)$$

де H_{\max} - максимальна твердість у зоні термічного впливу по Віккерсу (навантаження 100 Н);

C_e - вуглецевий еквівалент.

При напавленні становить проблему утворення гарячих тріщин [71].

Виникнення тріщин пояснюється так. Під час кристалізації напавленого шару на межах кристалічного зерна утворюється легкоплавкий розплав (евтетика), наявність якого на межах зерна стає причиною руйнування металу під впливом усадкової деформації.

Для оцінки чутливості до гарячих тріщин Уілкінсон [87] запропонував показник, який розраховується за виразом

$$K = \frac{C(S + P + \frac{Si}{25} + \frac{Ni}{100})}{3Mn + Cr + Mo + V}, \quad (2.7)$$

Основний метал істотно впливає на склад і твердість напавленого металу.

Вплив основного металу на твердість наплавленого металу перестає позначатися тільки з третього шару.

Склад n-го шару наплавленого металу можна розрахувати за рівнянням [77]

$$C_{\omega} = C_f + \left(\frac{P}{100}\right)^n (C_p - C_f); \quad (2.8)$$

де C_{ω} - вміст елемента в n-му шарі наплавленого металу, %;

C_f - вміст елемента в нерозбавленому металі, %;

C_p - вміст елемента в основному металі, %;

n - кількість наплавлених шарів;

P - ступінь проплавлення, %;

$$P = \left[\frac{A}{A+B}\right] \cdot 100; \quad (2.9)$$

де A - площа наплавленого металу за перерізом;

B - площа ділянки проплавлення основного металу по перерізу.

Якість наплавленого металу залежить від вибору режиму процесу.

Застосування високої щільності струму призводить до підвищення тепловиділення в деталь, що супроводжується збільшенням обсягу рідкого металу та глибини наплавлення.

Силу зварювального струму $J_{зв}$, A і напругу U, В, джерела живлення вибираємо за формулами [54]

$$J_{зв} = 40\sqrt{D}; \quad (2.10)$$

$$U = 21 + 0,04J_{зв}; \quad (2.11)$$

де D - діаметр деталі.

Зі зростанням сили струму збільшується глибина проплавлення, у той час як підвищення напруги забезпечує більшу рухливість плазми, що дещо знижує глибину проплавлення та робить наплавлення ширшим.

Швидкість наплавлення характеризується коефіцієнтом наплавлення, $г/(А \cdot г)$, що визначається за формулою [44]

$$K_n = 2,3 + 0,065 \frac{J_{36}}{d}; \quad (2.12)$$

де d - діаметр плазмової дуги, мм.

Швидкість переміщення плазмотрона або швидкість наплавлення, м/год визначається шириною наплавлення і глибиною проплавлення і може бути знайдена за формулою [44]

$$V_n = \frac{K_n \cdot J_{36}}{F \cdot \gamma \cdot 100}; \quad (2.13)$$

де F - площа поперечного перерізу наплавленого шару, $см^2$;

γ - густина металу шва, $г/см^3$.

Підставивши вираз (2.10) та (2.12) у формулу (2.13), отримаємо

$$V_n = \frac{\left(2,3 + 0,065 \cdot \frac{40\sqrt[3]{D}}{d}\right) \cdot 40\sqrt[3]{D}}{F \cdot \gamma \cdot 100}; \quad (2.14)$$

Оскільки площа поперечного перерізу наплавленого шару дорівнює $F = B \cdot H$,

то

$$V_n = \frac{\left(2,3 + 0,065 \cdot \frac{40\sqrt[3]{D}}{d}\right) \cdot 40\sqrt[3]{D}}{B \cdot H \cdot \gamma \cdot 100}; \quad (2.15)$$

Враховуючи, що при наплавленні ширина шва повинна укладатися в ширину

зони гарантованої змочуваності, то [19]

$$B = B_{max} = 4 \sqrt{\lambda n \frac{T_{max}}{T_{min}} a(t_0 - t)}; \quad (2.16)$$

де T_{max} - максимальна температура нагрівання поверхні деталі у центрі п'ятна нагрівання;

T_{min} - мінімальна температура поверхні основного металу, при якій можливе змочування його наплавленим рідким металом;

a - коефіцієнт температуропровідності основного металу;

λ - довжина зони контакту, м.

t_0 - постійна часу,

t - тривалість процесу змочування основного металу ($t = 0$).

Постійна часу t_0 знаходиться за виразом [19]

$$t_0 = \frac{1}{4 \cdot a \cdot k}; \quad (2.17)$$

де k - коефіцієнт зосередженості, ($k = 0,36$).

Довжину зони визначили з виразу

$$\lambda = \frac{\pi}{180} R_d \cdot \alpha; \quad (2.18)$$

де R_d - радіус деталі, м;

α - кут поверхні деталі, відповідний початку контактування порошку.

Підставляючи вирази (2.16) та (2.17) у формулу (2.15) знайдемо

$$V_n = \frac{2,3 \sqrt{D} + \frac{2,6 \sqrt{D^2}}{d}}{10 \cdot H \cdot \gamma \cdot \sqrt{\lambda \cdot n \left(\frac{T_{\max}}{T_{\min}} \cdot a \left(\frac{1}{4ak} - t \right) \right)}}, \quad (2.20)$$

Ми отримали формулу визначення швидкості наплавлення (м/год.).

Використовуючи вираз (2.2) і підставляючи його числове значення V_n визначене за формулою (2.20) можна отримати частоту обертання деталі задаючи різні значення її діаметра за умови постійного значення швидкості наплавлення, м/год. рис. (2.3).

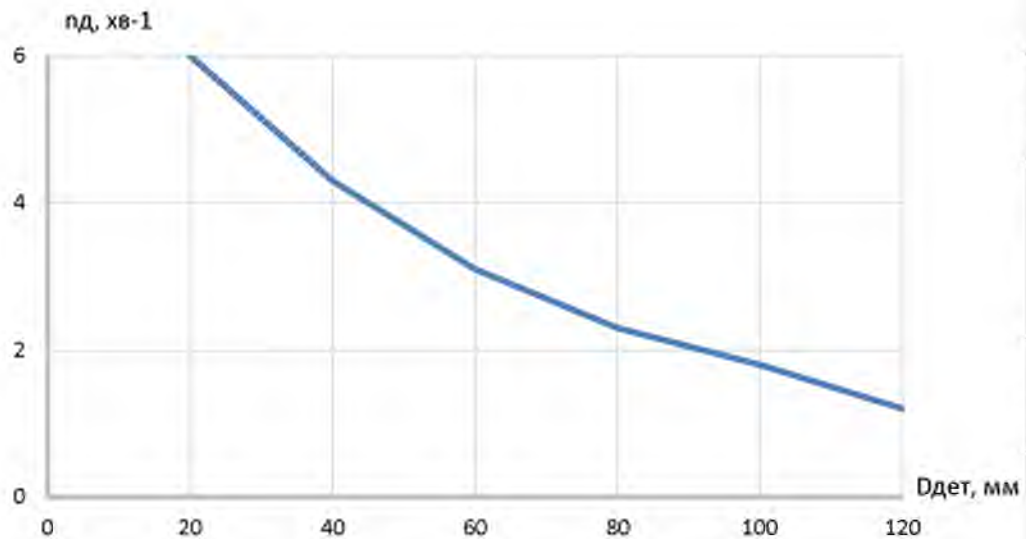


Рис. 2.3. Графік залежності частоти обертання деталі від діаметра шийки наплавлювального вала.

Висновки по розділу

1. Найвні способи активування, що застосовуються при зварювальних та наплавних процесах, недостатні для отримання міцного зв'язку в поверхневому шарі при плазмовому наплавленні. Підвищення густини металопокриття можливого шляхом підбору оптимального складу порошкового матеріалу.

2. Обґрунтоване введення нікелю у певній межі до 30% у багатосфазну систему типу Fe-Ni-Cu-Mn-Si-B, сприяє утворенню міцних зв'язків тугоплавких сполук у м'якій основі. Подальше підвищення відсоткового вмісту призводить до різкого прояву різниці температури плавлення (закипання та випаровування металевих зв'язок), що сприяє зниженню: коефіцієнта перенесення матеріалу на деталь; суцільності та щільності шару.

3. Для зниження неоднорідного поля температур запропоновано додавання елементів - активаторів із різко відмінними параметрами електро- та теплопровідності. Одним з таких активаторів є бор, застосування якого призводить до окислення та відшарування активних плівок та його висшої легуючої здатності.

4. Зі зростанням сили струму збільшується глибина проплавлення, але підвищення напруги забезпечує більшу рухливість плазми, що дещо знижує глибину проплавлення та робить наплавлення ширшим. Зі збільшенням глибини проплавлення утворюються гарячі тріщини і відбувається короблення деталі.

5. Отримано аналітичний вираз (2.20) для визначення швидкості наплавлення або швидкості переміщення плазмотрона, на підставі якого побудований графік частоти обертання валу в залежності від діаметра, що наплавляється.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ**ДОСЛІДЖЕНЬ****3.1 Методологічна схема проведення досліджень**

Методикою проведення досліджень плазмового способу нанесення металопокриттів розпорошеними порошками передбачалося вирішення завдань цієї роботи як теоретичним, і експериментальним шляхом.

Аналіз формування металопокриттів, впливу природи матеріалу на утворення шару та встановлення деяких закономірностей формування покриття із заданою товщиною дозволили отримати деякі передумови, що показують можливість отримання щільних високотривалих металопокриттів. Однак ці передумови та припущення щодо взаємозв'язку параметрів процесу, а також виведення теоретичної залежності вимагали експериментальної перевірки та дослідження.

Експериментальними дослідженнями процесу нанесення покриттів плазмовим способом на деталі передбачалося вирішення трьох основних задач даного дослідження. Такими основними завданнями є:

1. Вибір оптимальних порошкових наплавлювальних сумішей.
2. Визначення та встановлення основних параметрів та режимів способу, що забезпечують отримання якісних шарів та міцне зчеплення отриманого покриття з металом деталі (зразка).

3. Визначення працездатності одержаних металопокриттів. Відповідно до поставлених завдань було передбачено поетапне проведення дослідження.

На першому етапі дослідження передбачалося виявлення основних залежностей та параметрів плазмового способу нанесення покриття, а також з'ясування ступеня впливу цих параметрів на кількість і якість шару, що наноситься.

Передбачалося, що основними параметрами, що визначають процес та результати нанесення шару, є сила струму, напруга, продуктивність. Передбачалося виявити суттєвий вплив зазначених параметрів на якість покриття з використанням порошкових сумішей як на залізо-нікель-мідній основі (суміш ПР-

Н4Д2М) з метою порівняння результатів, так і у присутності нами розробленого порошку марки ПР-400П25С6Г3ХЗР.

На цьому етапі передбачалося виявити оптимальний склад комплексної залізо-боро-хромо-нікелевої основи та вплив основних легуючих елементів - вуглецю, бору, хрому та нікелю на оціночні показники результатів досвіду:

щільність покриття, якість зчеплення отриманого шару, його твердість та зносостійкість при роботі в парах тертя. Крім того, передбачалося враховувати і такі технологічні показники, як тепловий вплив на метал зразка, швидкість нанесення металопокриття, втрати порошку та перевірити раніше виведені технологічні залежності.

Наприкінці дослідження передбачалося проведення відновлення плазмовим способом зношених поверхонь у кількох реальних деталей двигунів тракторів та комбайнів.

3.2 Експериментальна установка та прилади, основний метал та композитні матеріали

Виходячи зі способу отримання покриття на циліндричній деталі, що відновлюється, по гвинтовій лінії в якості бази для експериментальної наплавальної установки був прийнятий токарно-гвинторізний верстат типу 1М63 (рис. 3.1).

На токарно-гвинтовому верстаті 1М63, переобладнаному для наплавлення колінвалів і деталей типу «вал» частота обертання шпинделя змінювалася від 0,3 до 10 об/хв, здійснено установку центрозміщувачів для наплавлення шатунних шийок, виконано кріплення плазмотрона та порошкового живлення на суперті верстата за допомогою стійки ізольованої від маси верстата (рис. 3.2).

Основним робочим органом у комплекті оснащення є плазмотрон [7], який служить для створення та стабілізації стиснутої електричної дуги (плазми)

палаючої між електродом плазмотрона і наплавленим виробом в потоці плазмоутворюючого газу (аргону).



Рис. 3.1. Гіскарно-гвинтовий верстат 1М63 переобладнаний для наплавлення.



Рис. 3.2. Плазмотрон із порошковим живильником.

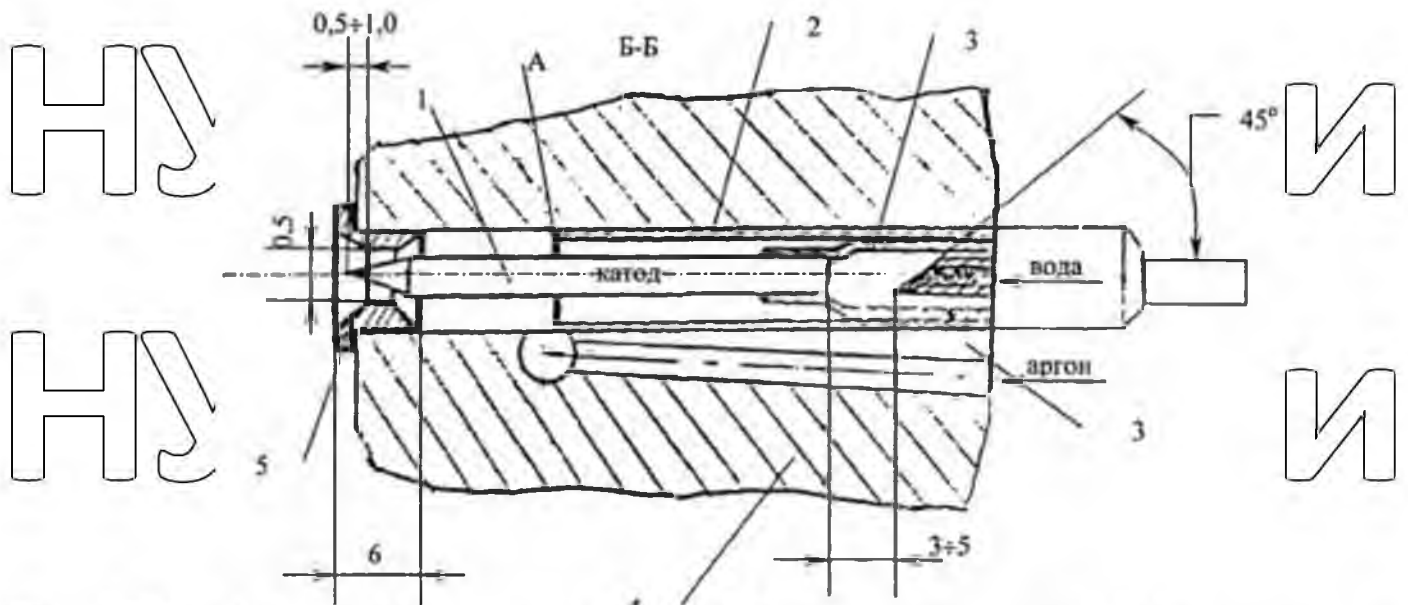


Рис. 3.3. Розріз плазмотрону

1 - вольфрамовий електрод 2 - ізолююча втулка, 3 - трубка, 4 - плазмотрон з міді, 5 - плазмоутворююче сопло.

Плазмотрон (рис. 3.3) складається з корпусу позиція 4, сопла 5, ізолюючої втулки 2, електрода 1, трубки 3 для подачі охолоджувальної води до вольфрамового наконечника електрода.

Корпус плазмотрону має бути виготовлений із чистої міді М1, М0.

Для забезпечення напійної подачі газу необхідно, щоб торець А ізолюючої втулки 2 повинен розташовуватися по зрізу отвору подачі аргону.

Плазмоутворююче сопло 5, виготовлене з чистої міді М1, М0 запресовано в корпус плазмотрона, за рахунок чого забезпечується щільний контакт сопла з водоохолоджуванним корпусом плазмотрона. Заміну плазмоутворюючого сопла можна здійснювати без вимкнення подачі води в плазмотрон.

Важливим вузлом плазмотрона є катод - електрод, що складається з мідної основи у вигляді водоохолоджувальної трубки 3, припаяної до активної вольфрамової вставки діаметром 3 мм з гостро заточеним кінцем, відцентрованим щодо каналу плазмоутворюючого сопла. Порушення центрування може спричинити:

- ненадійне збудження дуги;
- швидке зношування сопла внаслідок ексцентричного його оплавлення;

- вихід з ладу сопла та електрода внаслідок утворення подвійної дуги.

Під час зношування катода напруженість стовпа дуги змінюється, що позначається на ефективності нагрівання частинок порошку та формування наплавленого шару.

Поверхня сопла та наконечник електрода не повинні мати напливів, задирок, бризок металу, нагару.

Струм до сопла для живлення чергової дуги підводиться через корпус плазмотрона 4 та трубки підведення води. Герметизація порожнини плазмоутворюючого газу забезпечена втулкою 2 за рахунок її щільної посадки на електрод 1 і корпус плазмотрона. Електрод 1 виготовлений із дантонованого вольфраму ВЛ ТУ 48.19-2788 або ітрованого СВМ-1, припаяного припоем Л62 ГОСТ 10627-78 до мідної трубки $\varnothing 6$ мм (товщина стінки 1 мм).

Струмознімач призначений для підключення зварювального кабелю з негативним потенціалом від джерела живлення до електрода плазмотрону.

Тримач плазмотрона виготовлений з діелектричних матеріалів і призначений для кріплення плазмотрона до стійки кріплення струмознімача, а також для забезпечення надійної ізоляції між електродом та корпусом плазмотрона між електродом і стійкою.

Охолодження електрода, сопла плазмотрону та трубки подачі порошку послідовне.

Порошковий живильник складається з дозатора, барабана, приводу порошкового живильника, бункера для порошкових матеріалів, з'єднувальних шлангів.

Як привод порошкового живильника використовується привід склоочисника з двигуном постійного струму на 12 В у зборі з черв'ячним редуктором, на вихідний вал якого встановлений барабан.

НУБІП УКРАЇНИ



Рис. 3.4. Пульт керування. 1 - дозатор, 2 - вольтметр.

На корпусі редуктора закріплено дозатор. Змінюючи частоту обертання барабана на пульті ПК (рис. 3.4), можна плавно регулювати витрату порошку по вольтметру.

Застосування транспортуючого газу забезпечує збільшення швидкості руху частинок порошкового матеріалу, за рахунок чого вони надходять до серцевини факела.

Потоки плазми та розплавленого металу повинні бути спрямовані перпендикулярно поверхні зварювальної ванни. Розплавлений метал повинен надходити у ванну лише на відстані 2-3 мм від її головної частини, тому подача порошку трубкою 2 повинна бути плавною строго перпендикулярно до осі каналу сопла (рис. 3.5).

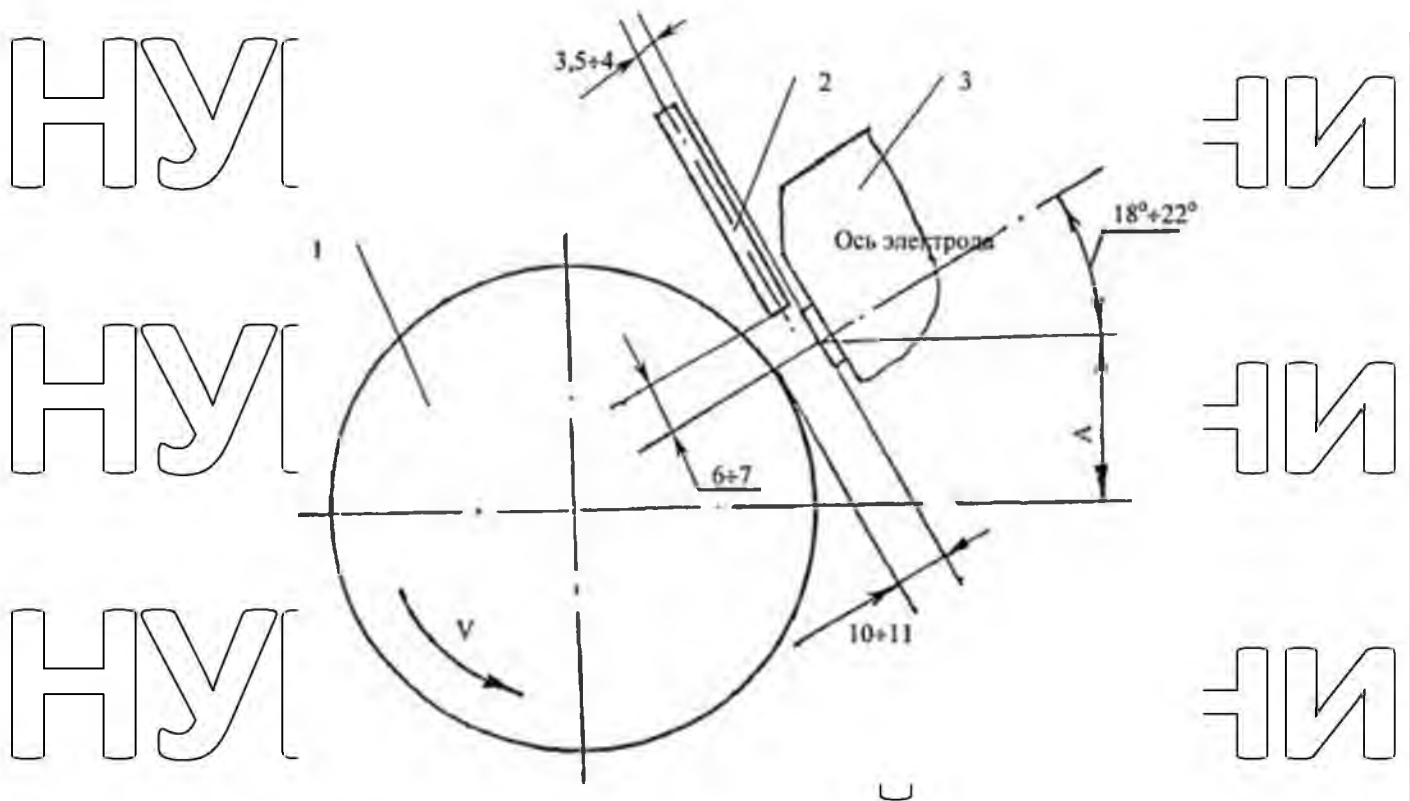


Рис. 3.5. Принципова схема розкладання валу і плазмоторну.

Перед наплавленням попереднього підгріву піддаються колінвали зі сталі з вмістом вуглецю $C \geq 0,45\%$. Попередній підгрів необхідний для запобігання появі тріщин у наплавленому шарі, а також видалення конденсату, оливи з поверхні шийки та виявлення тріщин у основі металу. Зона нагріву шийки (0,3 - 0,5) ширини шийки. Температура нагрівання $180^\circ\text{C} - 220^\circ\text{C}$ до появи характерного кольору побіглості. Деталі типу «вал» $\varnothing \leq 60\text{ мм}$ – без підгріву.

Наплавлення виконують [8] по ширині шийки, не доходячи до галтелей 3 мм.

Не необхідно для збереження динамічної міцності колінвалу. По мірі наплавлення окисні та шлакові включення збивати та простукувати шов мідною киянкою – ущільнювати. Вибір товщини наплавленого шару ведеться залежно від величини зношування. Діаметр наплавленої шийки підсумовується з номінального або необхідного розміру та припуску на механічну обробку.

$$D_{\text{напл}} = d_{\text{ном}} + \delta;$$

де $d_{\text{ном}}$ - номінальний розмір, мм;

δ - припуск на механічну обробку, мм (2,5).

Наприклад, діаметр зношеної шийки у валу двигуна СМД-60 до 2,5 мм.

Номінальний діаметр корінної шийки 92,25 мм.

$92,25 + 2,5 = 94,75$ мм – діаметр наплавленої шийки.

Товщина наплавленого шару, складе

$94,75 - 92,25 = 2,5/2 = 1,25$ мм – на сторону.

Якщо одного шару недостатньо, необхідно наплавити 2-й шар з перервою за часом 5-7 хв.

До складу експериментальної установки входять: плазмотрон, порошковий живильник, джерело живлення (ВДУ-506), пульт управління з контрольно-вимірювальною апаратурою (вольтметр, амперметр, дозуючий пристрій) (рис. 3.4), а також апаратура для вимірювання зразків після наплавлення (табл. 3.1).

Деталі автомобілів, тракторів та інших сільськогосподарських машин виготовляються з різних марок сталей, чавунів та ін. Для важко навантажених відповідальних деталей застосовують леговані сталі марок 18ХГТ, 30ХГТ, а деталей, які працюють в умовах тертя, - марганцевисті сталі марок 20Г, 40Г, 65Г [69]. Однак переважна більшість автотракторних деталей типу валів і осей, що відновлюються різними способами, виготовляють із сталі 45, тому як зразки для дослідження ми взяли колінчасті вали двигунів Д-240, ЯМЗ-238 і вали комбайнів.

Таблиця 3.1

Перелік апаратури під час проведення експерименту

Найменування	Тип
Металографічний мікроскоп	МММ-7
Ваги аналітичні	АДВ-200
Прилад для вимірювання мікротвердості	ТП-7Р-1
Твердомір	ТК-2М
Профілограф - профілометр	Калибр-201
Емісійний - спектрометр	"SPECTROLAB"
Головка індикаторна вартового типу з ціною поділу 0,01 мм	
Мікрометри з межами 0-25, 25-50, 50-75	

Оскільки у більшості автотракторних деталей знос становить 0,15 мм на сторону, товщина нанесеного покриття обмежувалася величиною, що дорівнює 1,2

мм з урахуванням припуску на механічну обробку. В якості еталона був взятий колінчастий вал двигуна Д-240 виготовлений зі сталі 45 хімічного складу: С-0,47%, Cr - 0,2, Mn - 0,79 і Р - 0,018% зі зношеними шатунними та корінними шийками до 0,2 мм на діаметр.

Плазмове наплавлення проводилося безпосередньо після підігріву за температури 180°C - 220°C (рис. 3.6 - 3.7). Спочатку наплавлялися шатунні шийки, потім корінні. Наплавлення проводили на дільниці відновлення колінчастих валів у ПРАТ «Зернопродукт-МХП».

У дослідах за основу для складання композицій використовувалися порошкові суміші та сплави ВАТ «Полема» Сумичермет (ПР-Н4Д2М за ГОСТ 14-22-114-97). Додатки порошкових композицій марки ПР-400Н25С6ГЗХЗР по ГОСТ 740-2003 виготовлені у ВАТ «Полема», рекомендовані авторами [9, 10, 41]. За гранулометричним складом застосовувалися порошки 40...100 мкм.

На якість металопокриття великий вплив мають режими наплавлення [13] (робочий струм, напруга, швидкість наплавлення). При нанесенні металопокриттів по гвинтовій лінії з перекриттям шарів особливого значення набуває крок наплавлення. Відомо [50], що зі збільшенням кроку наплавлення покращується зчеплення з основним металом, його середня твердість.



Рис. 3.6 Попередній підігрів шийки колінчастого валу.



Рис. 3.7. Наплавлення колінчастого валу.

При зварювальних процесах крок наплавлення вибирається таким, щоб наступний валик перекривав попередній на $1/4 \dots 1/2$ його ширини.

Таблиця 3.2.

Хімічний склад порошкових сумішей

Марка порошка	Хімічний склад, %										
	Fe	Cu	Ni	B	Mo	C	Si	Mn	S	P	O ₂
Pr-Н4Д2М	осн.	1,51	1,54	нема	0,55	0,12	0,20	0,21	0,018	0,022	0,12
Pr-400Н25С 6Г3х3Р	осн.	-	24,9	0,57	-	4,0	5,36	2,48	3,1	-	-

На підставі вище викладеного після попередніх дослідів були прийняті такі режими нанесення металопокриттів:

- сила струму стиснутої дуги, А 230...240;
- напруга дуги, В 20...30;
- витрата плазмоутворюючого газу, л/хв 5...6;
- витрата транспортуючого (захисного) газу, л/хв 0,5...1;
- швидкість наплавлення, м/год 40...42;
- витрата порошку, г/хв 40...50;

- гранулометричний склад порошку, мкм

40...200;

- крок наплавлення, мм/об

2...3;

- частота обертання валу, об/хв

2...3;

- відстань від сопла до деталі, мм

10...11.

3.3 Визначення геометричних розмірів сформованого шару

Дослідження формування металопокриттів при відновленні деталей вимагає виконання великої кількості вимірювань для визначення геометричних розмірів (висоти та ширини) та форми (профілю) наплавлених валиків. Ці вимірювання, зазвичай, проводяться штангенінструментами, що дозволяють визначити лише усереднені максимальні значення вимірюваних величин. У ряді випадків, наприклад, в експериментальних дослідженнях, вимірювання наплавлених валиків штангенінструментами стає неприйнятним через недостатню точність вимірів окремих його елементів, а отже, неможливості точного визначення профілю валика.

З іншого боку, щодо висоти наплавлених валиків виникає необхідність виконання проміжних обчислень.

Відсутність задовільної методики визначення профілю наплавлених валиків і великий обсяг вимірювань змусили відмовитися від вимірів штангенінструментами і використовувати розроблений автором [48] індикаторний профілометр, що дозволяє з достатньою точністю і швидкістю проводити вимірювання ширини і висоти наплавленого валика в поперечному і продольному перерізі, конусності і овальності зразків, що підлягають наплавленню та деталей діаметром до 100 мм і довжиною до 250 мм.

Принцип дії індикаторного профілометра заснований на переміщенні голки індикатора досліджуваної поверхні. Відлік висоти валика провадиться за шкалою індикатора, що має ціну поділки 0,01 мм, а ширину - за вимірювальною лінійкою з ціною поділки ноніуса 0,02 мм.

Прилад дозволяє визначити абсолютні чисельні значення ширини та висоти валиків безпосередньо за показаннями вимірювальної лінійки та шкалою індикатора без будь-яких проміжних обчислень.

3.4 Визначення пористості металопокриття

Методи лінійно поперечного та пошарового шліфування добре застосовні при визначенні дефектів по всьому перерізу наплавленого шару металу. Але за наплавлення по гвинтовій лінії пори перебувають і лінії сплавлення [48], тому дослідження з визначення пористості проводилися за такою методикою. Шийки колінчастих валів двигунів ЯМЗ-238 та Д-240 наплавлялися в однакових умовах по всій довжині шийки з кроком 2...3 мм. Потім проводилося розтин металопокриття (виріз поперечного темплету).

На темплетях, підготовлених до мікроструктурного аналізу, визначалася площа пор і глибина розташування пор щодо лінії сплавлення.

Виявлення пор та їх замір здійснювалися за мікрофотографіями та за допомогою мікроскопа МИР-3 (при 20-кратному збільшенні) з межами вимірювання 0,015...0,025. Ціна поділу відлікової окулярної шкали мікроскопа визначалася за допомогою об'єкта-мікрометра мікротвердості ПМТ-3 з ціною поділки 0,01 мм.

Як основний критерій пористості металопокриття прийнята відносна площа пор у зоні сплавлення [48]. Показник пористості визначали у відсотках за формулою

$$q_n = \frac{\sum_{i=1}^K F_{ki}}{F_{сп}} \cdot 100\% \quad (3.1)$$

де $\sum F_{ki}$ - сума площ всіх пор;

K - кількість пор у зоні сплавлення;

$F_{сп}$ - площа зони сплавлення, що визначається виразом $F_{сп} = h \cdot \lambda$,

де h - глибина проплавленого основного металу,

λ - довжина вирізаного темплету.

Крім того, визначається кількість пір на 100 мм довжини зони сплавлення.

$$K_{\lambda=100} = \frac{n}{\lambda_{сп}} \cdot 100 \quad (3.2)$$

Середнє значення пористості, властиве досліджуваній порошковій суміші, визначалося як середнє арифметичне від пористості при різних інтервалах варіювання основних елементів порошку.

3.5 Дослідження зносостійкості зразків

Довговічність відновлених деталей машин визначається їх зносостійкістю, тому з метою оцінки ефективності впливу легуючих елементів у складі порошкових сумішей було проведено порівняльні зносні випробування.

Факторами, які в основному визначають процес зношування деталей машин, є швидкість переміщення поверхонь, що труться, тиск, умови їх мащення, кількість і якість мастила і, нарешті, середовище, в якому відбувається тертя ковзання: вода, гази та ін [66, 67]. Найбільш повно цим вимогам відповідає машина тертя МТ-1М, що дозволяє здійснювати різні види тертя, змінювати питомий тиск і дає можливість здійснювати зношування в умовах мащення в присутності абразиву.

Машина має пристосування для вимірювання: величини моменту тертя, шляху та роботи тертя.

Для визначення відносної зносостійкості [28] випробовувалися зразки, корінні та шатунні шийки колінчастих валів Д-240, ЯМЗ-238, виготовлені зі сталі 45 діаметром 150, 88 мм, шириною 35 мм. На початку випробовувалися шийки колінчастих валів, наплавлені за стандартною технологією, а потім зразки з нанесеними покриттями з порошкових сумішей, що рекомендуються нами, з товщиною нарощеного шару 0,2 мм (після шліфування).

Шорсткість поверхні всіх випробуваних зразків після шліфування на круглошліфувальному верстаті була не менше $Ra = 0,63$ мкм. Матеріалом для виготовлення спряжених зразків – накладок служила бронза ВР ОСЦ-5-5-5. Вибір бронзи ОСЦ-5-5-5 пояснюється тим, що деталі цього матеріалу працюють у багатьох парах тертя. Припрацювання колодочок з бронзи проводилася на токарному верстаті зі спеціально виготовленим валиком діаметром 29,9 мм. До поверхні такого валика приклеювалася дрібнозернистий шліфувальний папір. Розповсюдження засвітленої зони на всю робочу поверхню свідчило про закінчення припрацювання. Для мащення використовувалося якісна олива УС-8 з

в'язкістю 8 сантистоксів. Подача оливи проводилася з ванни. Порошок абразиву (промисловий піл) додавався у кількості 2%. Повторно олива не використовувалася.

Знос зразків оцінювалося шляхом їх зважування на аналітичних вагах АДВ-200 з точністю до 10^{-4} г.

Припрацювання проводилось при питомому тиску $1,5 \text{ Мн/м}^2$ і 425 об/хв протягом 2-х годин. Продуктивність наступних операцій (зносних випробувань) становила п'ять робочих періодів чотири години кожен.

У кожній серії випробовували по 5 зразків. Перед кожною зупинкою машини знімали значення температури оливи у ванні та моменту тертя, а після зупинки - показання лічильника. Зразок промивався в ацетоні та спирті після чого зважувався.

3.6 Методика дослідження міцності зчеплення наплавленого металу з

основним

Міцність зчеплення наплавленого металу з основним визначалася методом відриву штифта (метод Олларда). Для цієї мети в зразках діаметром 105 мм були просвердлені ступінчасті отвори $\varnothing 4$ мм і 12 мм, в які після індивідуального підгонки встановлювалися по ковзній посадці штифти. Отвори $\varnothing 12$ мм свердлилися на глибину 16 мм для розміщення головок штифтів, що мають різьбу М8, головки штифтів після їх установки в зразок закривалися пробками. Зібраний зразок шліфувався до діаметра 24 мм під наплавлення. Після наплавлення металопокриття з боку пробок шліфувалося і пробки видалялися. На різьбову головку штифта нагвинчувалась тяга і штифт відривався нормально прикладеною силою на розривній машині Р5. Напруження відриву торця штифта від металопокриття підраховувалася за формулою

$$\sigma = \frac{P}{F}; \quad (3.3)$$

де P - зусилля відриву штифта, кг;

F - площа перерізу робочої частини штифта, мм.

Міцність зчеплення підраховувалася як середньоарифметичне значення напружень відриву для трьох штифтів.

Коефіцієнт зчеплення визначали за формулою

$$K_c = \frac{\sigma_e}{\sigma_o}; \quad (3.4)$$

де σ_e - напруження відриву штифта на зразку;

σ_o - напруження відриву штифта контрольного зразка.

Висновки та розділу.

1. Вибрано оптимальне обладнання та оснащення для проведення плазмового наплавлення деталей типу «вал», а також наведено технологічну схему наплавлення колінчастих валів двигунів.

2. Зроблено вибір зразків для досліджень. В якості еталону було взято колінчастий вал двигуна ЯМЗ-238.

3. Рекомендовані порошкові суміші (PR-H4D2M) та добавки порошкових композицій (PR-400H25C6Г3X3P) для плазмового наплавлення, а також прийняті режими нанесення металопокриттів.

4. Використані сучасні прилади для визначення та аналізу твердості, мікротвердості та мікроструктури наплавленого шару.

5. Запропоновано методи досліджень геометричних розмірів шару, що формується, та визначення пористості металопокриття.

6. Для оцінки ефективності впливу легуючих елементів у складі порошкових сумішей було проведено порівняльні зносні випробування.

7. Застосовано метод Олларда визначення міцності зчеплення наплавленого металу з основним металом зразка.

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

НУБІП України
4.1 Вплив частоти обертання деталі, продуктивності та режимів наплавлення на формування металопокриттів

При ремонті зношених деталей тракторів, комбайнів і різних сільськогосподарських машин цілком достатньо тонкостінних металопокриттів з незначним перекриттям наплавлених шарів. Все це викликає зміни термодинаміки процесу наплавлення порівняно із звичайними технологіями плазмового наплавлення. У зв'язку з цим оцінка технологічних факторів проводилася по товщині шару, що наноситься, глибині зони термічного впливу, за кількістю перенесеної порошкової суміші на деталь і глибині ерозійного впливу на наплавлене металопокриття з порошкової суміші різного складу.

Під час експериментальних досліджень застосовувалися порошкові суміші складу ПР-Н4Д2М ТУ 14-22-114-97 та ПР-400Н25С6Г3Х3Р ТТ-08-740-200. При попередніх дослідженнях остання порошкова суміш показала найкращі результати. На товщину шару, що наплавляється, і глибину зони термічного впливу при плазмовому способі наплавлення впливають частота обертання деталі, швидкість переміщення плазмотрона (швидкість наплавлення), сила струму і напруга.

Результати експериментальних досліджень щодо впливу вищезазначених факторів представлені на рис. 4.1 таб. П. 4.1.

На підставі попередніх експериментів було встановлено, що найбільш доцільні значення сили струму повинні бути: 180, 230 і 250 при напрузі в 30 В.

Виявилось, кожному значення сили струму відповідає певна залежність товщини наплавлення від частоти обертання деталі, тобто

НУБІП України

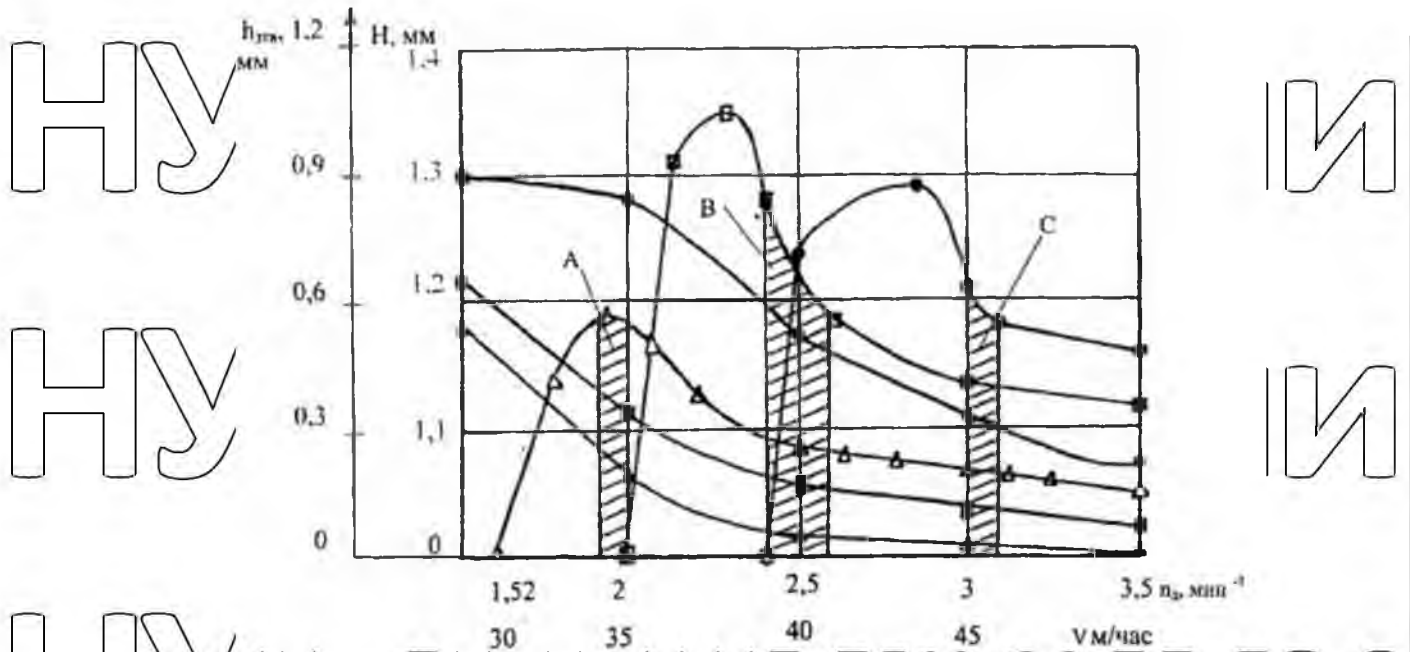


Рис. 4.1. Залежність товщини шару H та зони термічного впливу $h_{зтв}$ від сили робочого струму та частоти обертання деталі n_d .

H : Δ 180 А $h_{зтв}$: \blacktriangle 180 А А - 180 А

\square 230 А \blacksquare 230 А В - 230 А

\circ 250 А \bullet 250 А С - 250 А

$$H = f(V_d);$$

При зміні частоти обертання деталі від 3,5 до 2 хв^{-1} товщина наплавленого шару досягає від 1,1 до 1,36 мм і різко знижується.

Це пояснюється створенням умов (при зміні частоти обертання) узгодженості в часі кількості електричної енергії, що підводиться, з подачею робочо-порошкової суміші в робочу зону.

Області мінімальної пористості А, В і С відповідають умовам зазначеної узгодженості і не досягають максимальних значень товщини наплавлення H , тому що подальше підвищення швидкості наплавлення супроводжується підвищенням ерозійного впливу на формувальне металопокриття.

На підставі вищезгаданого, для якісного формування шару остаточно слід застосовувати такі технологічні режими: сила робочого струму 230 А, напруга джерела живлення 30 В, частота обертання деталі 2,3...2,7 хв^{-1} і швидкість наплавлення 40...42 м/год.

Потужність електричної енергії, що підводиться, і товщина покриття, що наноситься, впливають на зону, термічного впливу (рис. 4.1 і таб. П.4.2). При товщині шару 1,2 мм глибина зони термічного впливу не перевищує 0,6 мм.

При проведенні експериментів з вивчення впливу технологічних параметрів на кількість матеріалу, що переноситься на деталь і глибину ерозійного впливу на формоване металопокриття з робочого порошку різної (за залізо-боро-хромонікелевої та залізо-нікель-мідної) основи (рис. 4.2 та 4.3.), (таб. П. 4.3 та П. 4.4) встановлено, що кожному значенню сили струму відповідає певна величина частоти обертання деталі, При якій приріст металопокриття має максимальну позитивну величину.

При значному підвищенні сили струму до 250А процес в області нанесення металопокриття перетворюється на ерозійний процес різання (зняття покриття та основного металу) [37, 57] в результаті неузгодженості в часі кількості підведеної енергії з частотою обертання деталі.

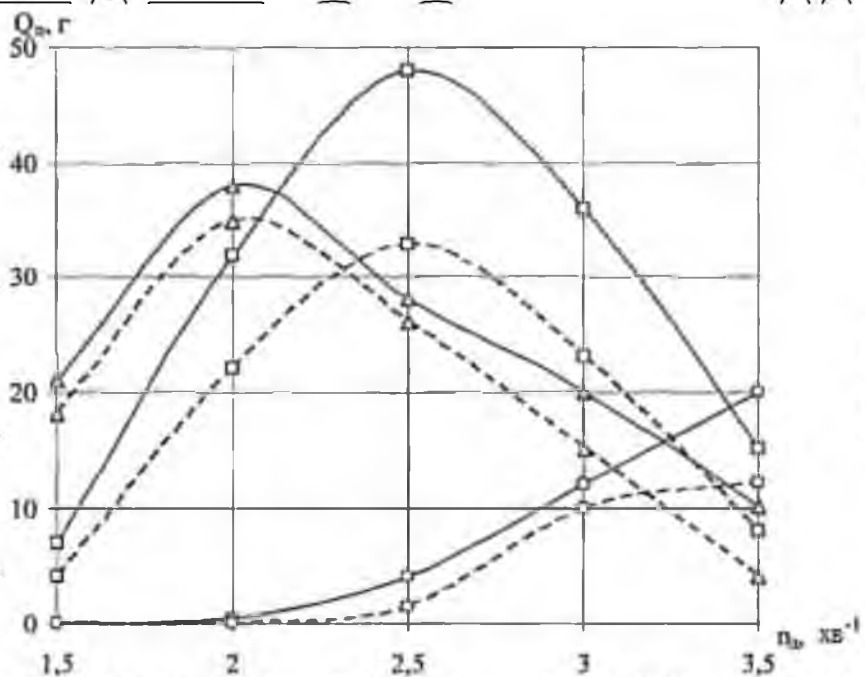


Рис. 4.2. Вплив швидкості обертання деталі $V_{об}$, сили робочого струму (180, 230 та 250 А) та складу порошкової суміші (PR-400H25C6Г3X3P і PR-H4D2M) на кількість порошкового матеріалу, що переноситься на деталь $Q_{п}$

— PR-400H25C6Г3X3P; - - - PR-H4D2M.

Δ - 180 А; □ - 230 А; ○ - 250 А.

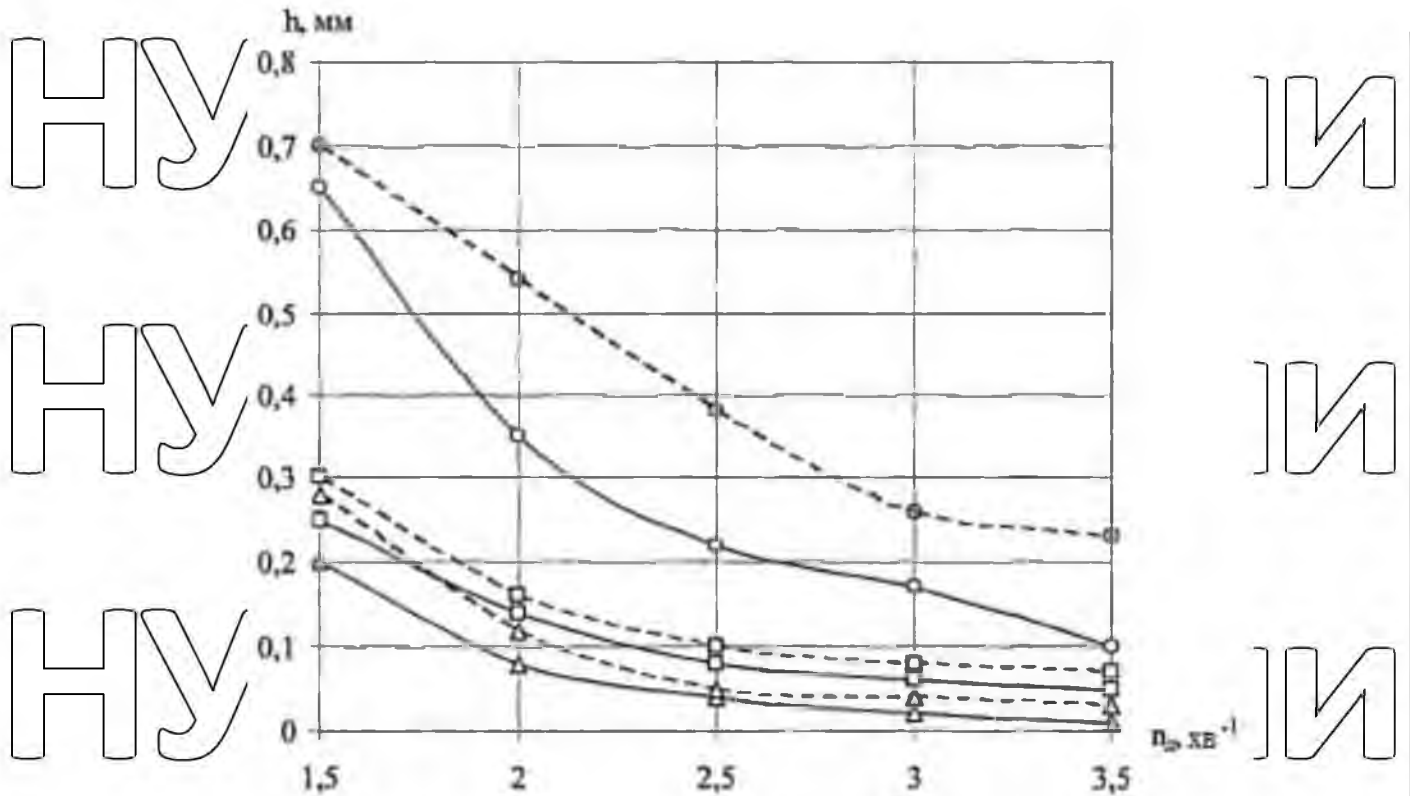


Рис. 4.3. Вплив частоти обертання деталі n_d , сили робочого струму (180, 230 та 250 А) та складу порошкової суміші (PR-400H25C6Г3X3P та PR-H4D2M) на товщину наплавленого шару h

— PR-400H25C6Г3X3P; - - - - PR-H4D2M.

Δ - 180 А;

\square - 230 А;

\circ - 250 А.

Максимальна кількість матеріалу, що переноситься на деталь, відповідає вищезгаданому оптимальним технологічним параметрам процесу.

На всіх режимах відбувається ерозія шару, що наноситься (рис. 4.3). З підвищенням сили струму ерозія сягає 0,6 мм. При оптимальних значеннях параметрів технологічного процесу ерозія становить 0,06...0,10 мм і перебуває у межах допуску на механічну збірку.

На кількісне перенесення металу та величину ерозії шару значний вплив має склад робочого порошку. Кращі показники порошкової суміші PR-400H25C6Г3X3P отримані за рахунок впливу зміни процентного вмісту нікелю та введення бору до складу залізо-нікель-мідної зв'язки порошкової суміші PR-H4D2M.

Обчислене значення частоти обертання деталей за формулою (2.2) становить $2,6 \text{ хв}^{-1}$ при оптимальній швидкості наплавлення $39,0 \text{ м/год}$, визначеної за отриманою формулою (2.20) і товщиною наплавленого шару $1,20 \text{ мм}$.

При експериментальному дослідженні вищевказана товщина була отримана при $2,3 \dots 2,5 \text{ хв}^{-1}$ і швидкості переміщення плазмотрона $40,0 \dots 42,0 \text{ м/год}$.

Розбіжність між розрахунковими величинами частоти обертання деталі та швидкості наплавлення та експериментальними становить $4 \text{ та } 5,0 \%$ відповідно.

Незначна похибка, тобто, хороший збіг теоретичних та експериментальних даних дозволяє рекомендувати формулу (2.20) для застосування в розрахунках визначення швидкості наплавлення при плазмовому процесі відновлення зношених деталей машин сільськогосподарського призначення.

4.2 Вплив вуглецю, хрому, нікелю та бору в порошку на щільність та

товщину металопокриття

Рациональне легування сплавів передбачає отримання при найбільш економічній витраті легуючих елементів оптимального комплексу своїх двох основних складових: найбільш твердої - карбідної (борної, карбобороїдної) та основи сплаву - матриці, в якій ці карбіди розташовані [9]. Основа може бути на базі аустеніту, мартенситу та фериту. Найбільш вдалим поєднанням високих фізико-механічних властивостей та здатністю утримання твердих фаз має аустенітно-мартенситна матриця. Для високовуглецевих заєвтектоїдних сплавів типу ПР-Н4Д2М, ФБХ-6-2 та ін. отримати аустенітну складову можна шляхом введення до нього нікелю [82]. Введення нікелю, як впливає з теоретичних передумов і п. 4.1, повинне сприяти поліпшенню інших показників - щільності та товщини шару. Однак кількісна оцінка його оптимального введення до складу розпорошеного порошку у зв'язку з залежністю рационального методу легування від обраного способу формування металопокриттів [91] і технології ведення процесу [82] визначалася в результаті експериментальних досліджень.

Попередні дослідження показали, що при застосуванні порошкових сумішей на залізній, залізо-хромомідній або нікелевій основах на різних режимах плазмового наплавлення металопокриття відрізняються (рис. 4.4) високою

шорсткістю, низькою щільністю, поганою зчеплюваністю з основним металом наплавлення.

Введення до складу порошкової суміші типу ПР-Н4Д2М бору в кількості до 1% та підвищення відсоткового вмісту нікелю до 25% дозволяє стверджувати:

позитивний вплив на формування шару при плазмовому наплавленні, підвищення

вмісту нікелю в суміші супроводжується зниженням шорсткості і підвищенням щільності шару, що наноситься і введення бору підвищенням твердості і як наслідок зносостійкості, поліпшенням змочуючих властивостей, підвищення

вмісту нікелю понад 25% призводить до підвищення товщини шару, шорсткості і зниження щільності металопокриття. На кількість пор і товщину покриття

найбільше впливає процентний вміст вуглецю, потім нікелю і найменше процентний вміст бору та хрому.



Рис. 4.4. Наплавлені шийки колінчастого валу

Основний вплив на пороутворення, як показано у другому розділі, при плазмовому нанесенні металопокриттів надає азот. Підвищення розчинності азоту в розплавленому металі призводить до утворення газових бульбашок і гальмування

виділення газу з розплаву і, отже, до утворення пор. Розчинність азоту в

розплавленому металі залежить від наявності в ньому легуючих елементів, вплив яких на активність азоту оцінюється параметром взаємодії. Чим менший параметр взаємодії, тим більша розчинність азоту. Вуглець знижує розчинність азоту в залізі

та його поверхневу активність. При підвищенні вмісту вуглецю в порошковій

суміші знижується поверхнева активність азоту та гальмується як поглинання, так і виділення азоту. При зменшенні вмісту вуглецю безперервно збільшується адсорбція азоту. Крім того, на процеси насичення та виділення азоту з розплаву впливає окислення вуглецю. Утворення окису вуглецю на поверхні металу знижує парціальний тиск азоту, перешкоджає контакту його з металом та зменшує швидкість адсорбції. Тому зниження пористості та отримання максимальної густини відповідає верхньому рівню планування 4% вуглецю. Ці дані узгоджуються з принципом раціонального легування зварювальних процесів [72] щодо забезпечення наявності сприятливої для зносостійкості карбідної фази.

При підвищенні вмісту хрому в залізо-нікелевих сплавах з кисню, що міститься в атмосфері, на краплях розплаву утворюється плівка шлаку, що перешкоджає проникненню азоту в метал. Тому найкращі показники густини покриття відповідає верхньому рівню відсоткового вмісту хрому (3,1%) суміші.

У сплавах на залізо-хромовій основі (типу ФБХ-6-2), а також, що містять малу кількість нікелю (ПР-П4Д2М) залізо, як показано в другому розділі, зазнає багаторазових поліморфних змін, має максимальний коефіцієнт зміцнення, а отже, і крихтування. Тому у цих сплавах виходить низька щільність.

Збільшення відсоткового вмісту нікелю в залізо-нікель-мідних сплавах, що володіє стійкістю проти термічних ударів процесу, інтенсивно знижує ерозію (оскільки нікель має найбільші акцепторні властивості), що підвищує протяжність двофазних областей і змочуваність в поверхневому шарі, надає позитивну дію на щільність і якість металопокриття. Одночасно необмежена розчинність його в γ -залізі, а також висока розчинність в α -залізі позитивно впливає на зниження крихкості заліза. Як показано в п. 2.2, позитивний вплив на якість покриття та перенесення матеріалу здійснюється лише за певної межі зв'язки до 25%, тому з підвищенням кількості нікелю у зв'язці (понад 30%) призводить до зниження щільності шару, а оптимальним є його вміст на нижньому рівні, тобто. 24...25%.

Слід зазначити, що отримання високої щільності здійснюється в умовах узгодженості в часі кількості електричної енергії, що підводиться, з подачею розпиленого порошку в зону обробки, зміною температури формування шару шляхом подачі порошку безпосередньо в зварювальну ванну, при оптимальній

швидкості нанесення металопокриття і прийнятій силі струму, так як відомо [45], що збільшення до певних меж швидкості формування шару призводить до зменшення поверхні ванни та часу її існування, а це призводить до зменшення пористості (хоча впливання тут газових бульбашок утруднюється, але й утворюється їх значно менше). А перегрів крапель, як впливає з роботи [45], відіграє вирішальну роль у зниженні пористості.

Зниження товщини шару покриття при оптимальному складі порошкової суміші відбувається, мабуть, в результаті підвищення щільності металопокриття, що наноситься.

Наші теоретичні передумови та експериментальні дані, що пояснюють підвищення щільності покриття при застосуванні залізо-хром-бор-нікелевої зв'язки, збігаються з даними експериментальних досліджень авторів робіт [9, 38, 45].

4.3 Мікротвердість наплавленого металопокриття

Мікротвердість наплавленого металу є одним із найважливіших показників, що характеризують якість та працездатність нанесеного металопокриття. У цьому певний інтерес представляє результат вимірювання мікротвердості металу.

На рис. 4.5 та 4.6 – представлені результати та експериментальні дані мікротвердості (табл. П. 4.5 та П. 4.6) на зрізі зразка та наплавленого шару стандартним порошком марки ПР-Н4Д2М та нами розробленого з урахуванням робіт раніше проведених на кафедрі «Ремонт машин та ТКМ», а також літературних джерел [10, 29, 62] порошок марки ПР-400Н25С6Г3Х3Р із зміненим відсотковим вмістом компонентів порошку ПР-Н4Д2М та введеним до його складу бором (0,57%).

В результаті обробки експериментальних даних видно, що зразок наплавлений розробленим нами порошком марки ПР-400Н25С6Г3Х3Р має більш високу твердість як на зрізі зразка, так і наплавлена його поверхня (рис. 4.5 і 4.6).

Вище наведена якісна оцінка зміни металопокриття структурою підтверджується даними вивчення механічних властивостей і, зокрема, мікротвердістю наплавленого металу при різних значеннях легуючих елементів

даних марок порошків. Найбільше підвищення твердості (понад 8000 МПа) має місце при наплавленні з наступним процентним вмістом легуючих елементів: С - 4,0%, Cr - 3,1%, В - 0,57%, Ni - 24,9%.

Отримані порівняльні середньостатистичні дані мікротвердості металопокриттів, наплавлених із застосуванням порошкової суміші типу ПР-Н4Д2М та порошкової суміші ПР-400Н25С6Г3Х3Р, показують, що при використанні порошкової суміші ПР-400Н25С6Г3Х3Р мікротвердість по довжині і глибині наплавлених зразків змінюється в широких межах (від 1900 до 8000 МПа).

Зміна мікротвердості за довжиною зразка пояснюється впливом вуглецю, бору, хрому та нікелю на структурні складові матриці шару.

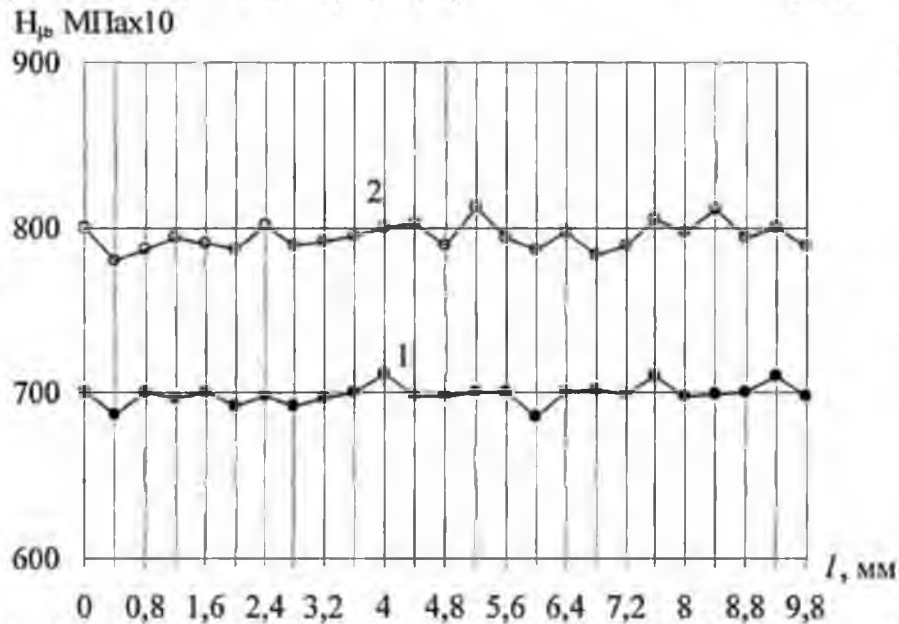


Рис 4.5. Зміна середньої мікротвердості металопокриття: 1 - ПР-Н4Д2М, 2 - ПР-400Н25С6Г3Х3Р

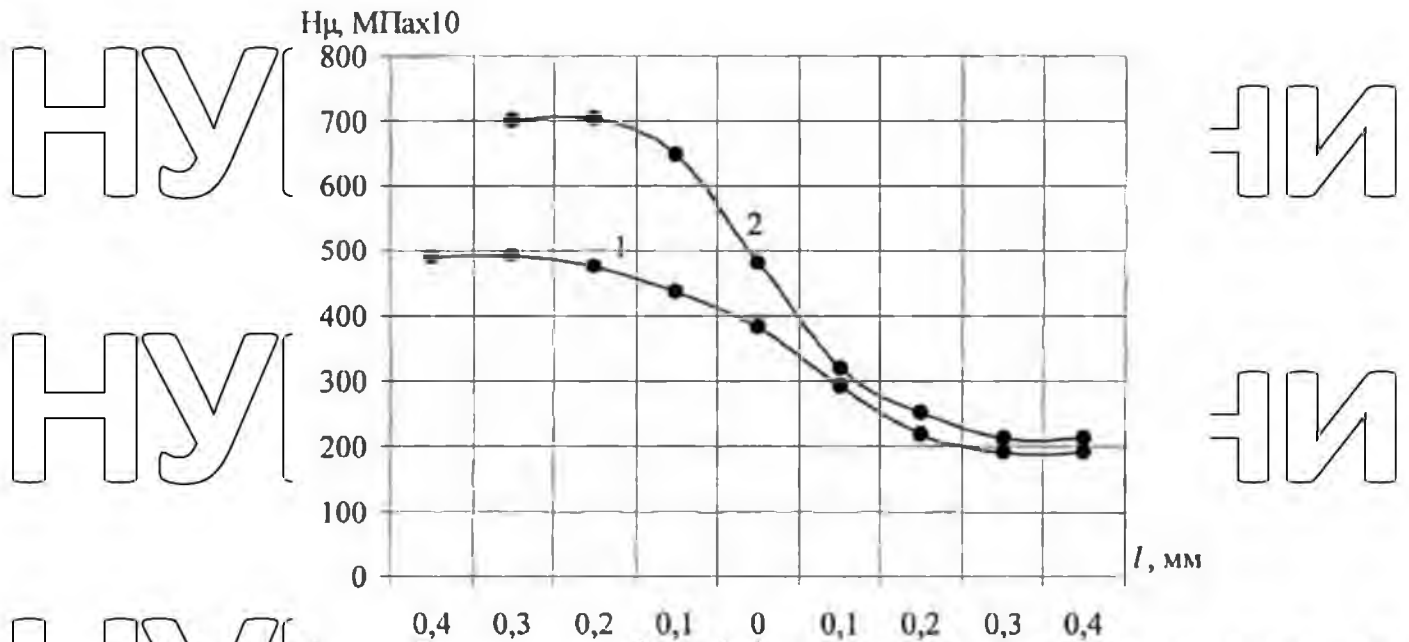


Рис. 4.6. Зміна середньої мікротвердості металопокриття за глибиною зразка: 1 суміш – ПР-Н4Д2М, 2 суміш – ПР-400Н25С6Г3Х3Р

Таким чином, дослідження показали, що характер розподілу мікротвердості за довжиною наплавленого зразка нерівномірний, проте чітко видно, що зі збільшенням відсоткового вмісту вуглецю, хрому та введенням бору мікротвердість збільшується, а зі збільшенням вмісту нікелю більше 30% - знижується.

Вимірювання мікротвердості за глибиною наплавлених зразків (рис. 4.5) дозволили виявити, що зона термічного впливу при наплавленні з різним відсотковим вмістом основних легуючих елементів незначна та близька до експериментальних даних автора [13].

Висновок

Порівнюючи закономірності зміни мікротвердості та мікроструктури, можна відзначити, що комплексний вплив легуючих елементів (вуглецю, бору, хрому та нікелю) у процесі нанесення металопокриття крім інших позитивних факторів (краще формування шару, підвищення щільності, отримання необхідних структур) не підвищує теплового впливу на основу за умов розробленого способу формування металопокриття.

РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ

ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ

5.1 Розрахунок економічної ефективності відновлення деталей

плазмовим наплавленням

Економічний ефект від впровадження розпиленого порошку при плазмовому наплавленні визначаємо за собівартістю відновлених колінчастих валів двигуна ЯМЗ-238 у порівнянні з собівартістю наплавлених валів за базовою технологією.

Для розрахунку економічної ефективності використовувався метод визначення економічної ефективності використання в сільському господарстві результатів науково-дослідних та дослідноконструкторських робіт, нової техніки, винаходів та раціоналізаторських пропозицій» [59, 72].

Відповідно до цієї методики розрахунок річного економічного ефекту від застосування нового технологічного процесу відновлення деталей плазмовим наплавленням проводився за формулою

$$E = (Z_1 - Z_2) \cdot A_p \quad (5.1)$$

де E - економічний ефект, грн.;

Z_1 та Z_2 - наведені витрати відновлення однієї деталі, що виконуються за допомогою базової та нової технології, грн.;

A_p - річний об'єм відновлення деталей за допомогою нової технології.

Наведені витрати відновлення одного колінчастого валу є сумою собівартості відновлення та нормативного прибутку.

$$\begin{aligned} Z_1 &= C_1 + E_B \cdot K_1, \\ Z_2 &= C_2 + E_B \cdot K_2, \end{aligned} \quad (5.2)$$

де C_1 і C_2 - собівартість відновлення деталі за базовою та новою технологіями,

грн.;

K_1 та K_2 - питомі капітальні вкладення у виробничі фонди за базовою та новою технологією відновлення, грн.;

E_B - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, $E_B = 0,15$.

Колінчасті вали, відновлені плазмовим наплавленням зі зміненим композиційним складом у відсотковому співвідношенні і введенням бору до 1%, мають покращені якісні показники, в результаті яких підвищується довговічність.

Показником довговічності є коефіцієнт відносної довговічності, визначений відношенням коефіцієнтів довговічності деталей, відновлених базовим і новим способами.

$$\eta = \frac{K_b}{K_n}; \quad (5.3)$$

де K_b - коефіцієнт довговічності деталі відновлений базовим способом;

K_n - коефіцієнт довговічності деталі відновленої за новою технологією.

Річний економічний ефект від застосування нового способу відновлення деталі з урахуванням коефіцієнта довговічності розраховується за формулою

$$E = (C_2 - C_1 \cdot \eta) \cdot A_p \quad (5.4)$$

де A_p - річний об'єм відновлення колінчастих валів.

Собівартість плазмового наплавлення одного колінчастого валу складе за новою технологією

$$C_1 = Z_{\Pi} + A + C_M + C_{\text{ел}} + (P_1 + H_B), \quad (5.5)$$

де Z_{Π} - заробітна плата виробничих робітників з нарахуваннями;

A - амортизаційні відрахування;

C_M - вартість основних матеріалів;

$C_{\text{ел}}$ - вартість електроенергії;

P_1 - інші витрати;

H_B - накладні витрати.

Основну частку у визначенні собівартості складає заробітна плата робітників

$$Z_{\Pi} = T_M \cdot C_{\Pi} \cdot K_{\Pi}, \quad (5.6)$$

де T_m - трудомісткість ремонту одного колінчастого валу, люд.-год.

$C_{ст}$ - середня тарифна ставка, грн. 1 год. робочого часу;

$K_{п}$ - коефіцієнт, що враховує доплати до основної заробітної плати виробничих робітників.

Відповідно до нормативів ПраТ «Зернопродукт МХП» заробітна плата робітника при наплавленні становить 974 грн., а при шліфуванні 2870 грн.

Сумарна зарплата складає 3844 гривні.

Амортизаційні відрахування становлять 10% від сумарної зарплати, тобто.

$$A = Z_{ст} \cdot 0,1 = 3844 \cdot 0,1 = 384,4 \text{ грн.}$$

Вартість матеріалів, тобто, вартість порошку $C_M = 342 \text{ гривні} \times 4 = 1368$ гривень.

Витрата електроенергії на наплавлення одного колінчастого валу з потужністю установки в 25 кВт

$$C_{ел} = C_{кВт-год} \cdot K_{ел}; \quad (5.7)$$

де $C_{кВт-год}$ - вартість одного кВт/год;

$K_{ел}$ - загальна витрата електроенергії за годину.

$$C_{ел} = 1,3 \cdot 25 = 32,5 \text{ грн.}$$

Інші та накладні витрати становлять (100...120%) до основної заробітної плати робітників [59]

$$(P_1 + H_B) = 3844,4 \cdot 1 = 3844,4 \text{ грн.}$$

Отже, собівартість наплавки одного колінчастого валу двигуна ЯМЗ-238 складе за новою технологією

$$C_1 = 3844,4 + 384,4 + 1368 + 32,5 + 3844,4 = 9473,7 \text{ грн.}$$

Вартість наплавлення за базовою технологією C_2 становить 8900 грн.

Річний економічний ефект складе

$$E = (C_2 - C_1 \cdot \eta) \cdot A_p,$$

НУБІП України

де η - коефіцієнт відносної довговічності, що дорівнює 0,85.

Річний економічний ефект буде

$$E = (8900 - 9474 \cdot 0,85) \cdot 200 = 169400 \text{ грн.}$$

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

НУБІП України

1. Обґрунтована доцільність відновлення зношених поверхонь деталей машин порошковим матеріалом з додаванням до нього елемента активатора – бору (0,57%).

2. Уточнено розрахункову залежність швидкості плазмового наплавлення, що враховує максимальну температуру нагрівання поверхні деталі в центрі плями нагріву, мінімальну температуру поверхні основного металу, при якій можливе змочування його рідким наплавленим металом, коефіцієнт теплопровідності основного металу, тривалість процесу змочування і товщину наплавляемого шару.

НУБІП України

3. Якісному формуванню шару, що наплавляється, відповідають наступні технологічні режими наплавлення: сила робочого струму 230 А, напруга джерела 30 В, частота обертання деталі (2,3...2,7) хв⁻¹ і швидкість наплавлення 40...42 м/год.

При рекомендованих технологічних режимах та товщині шару, що дорівнює 1,20 мм, зона термічного впливу не перевищує 0,6 мм, а величина ерозії становить 0,06...0,1 мм і знаходиться в межах припуску на механічну обробку.

НУБІП України

4. Найбільша зносостійкість відновлених поверхонь деталей машин з твердістю HV 726 при товщині шару наплавленого 1,20 мм досягається при частоті обертання деталі 2,3...2,7 хв⁻¹ і швидкості наплавлення 40...42 м/год.

НУБІП України

5. Річний економічний ефект відновлення колінчастих валів двигунів ЯМЗ-238 плазмовим наплавленням за рахунок застосування розробленої технології склав 169400 грн. при відновленні 200 валів.

НУБІП України

НУБІП України

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Абраменко Н.Е., Кондратьев Е.Т. Исследование некоторых свойств металлопокрытий на Fe-Cr-Ni основе. - Совершенствование конструкций и методов использования машин в сельском хозяйстве. / Сб. научн. тр. Волгор. СХИ, 1980, т. 74, С. 118-121.
2. Абраменко Н.Е., Онищенко В.И. Восстановление деталей ферромагнитными композициями. - Техника в сельском хозяйстве, 1981, №2, С. 55-56.
3. Апшен А.А. Основные физико-химические принципы создания жаростойких неорганических покрытий. - Жаростойкие покрытия. М.-Л.: Наука, 1965, 234 с.
4. Альбински К. Исследования электроэрозионной устойчивости рабочих электроискровой и электроимпульсной обработке. - Станки и инструменты, 1964, №7, С. 11-13.
5. Антонова Е.А., Певзнер Б.З. Жаростойкие покрытия из порошков хрома, никеля, бора и кремния, полученные на стали методом эмалирования. - Защита металлов, 1965, т. 1, № 1.
6. Антонова Е.А., Певзнер Б.З., Андрущенко Н.С. Механизм формирования покрытий Ni-Cr-B-Si в атмосфере воздуха. - Защитные высокотемпературные покрытия. - Л.: Наука, 1972, №3, С. 24-35.
7. Арбузов М.П., Хаенко Б.В. Рентгенографическое исследование атомного рассеяния компонентов и дефектности структуры карбида титана. - Порошковая металлургия, 1966, №2, С. 64-70.
8. Аскинази Б.М. Упрочнение и восстановление деталей электромеханической обработкой. - Л.: Машиностроение, 1977. - 184 с.
9. Балтер М.А. Упрочнение деталей. - М.: Машиностроение, 1978. - 184 с.
10. Барский И.В., Колодий Ю.К., Юй Жунхуа. Максимальные динамические нагрузки в трансмиссии колесного трактора. - Тракторы и сельхозмашины, 1965, №4, С. 45-59.

11. Бабаев И.А. Исследование и разработка технологии восстановления деталей порошковыми композиционными покрытиями (на примере шестерен насосов типа НШ). Автореф. канд. дис. Москва, 1982. - С. 14-17.

12. Белый А.В., Макушок Е.М., Коболь И.Л. Поверхностная упрочняющая обработка с применением концентрированных потоков энергии. - Минск: Наука и техника, 1990. - 52 с.

13. Бойцов А.Г. и др. Упрочнение поверхностей деталей комбинированными способами. - М.: Машиностроение, 1991. - 230 с.

14. Вадивасов Д.Г., Деев В.А., Коваль А.В. Работоспособность коленчатых валов, восстановленных наплавкой. - Автоматическая сварка, 1969, №23, С. 23-36.

15. Вайнерман А.С. и др. Плазменная наплавка металлов. Л. Машиностроение, 1996. - С. 9-14.

16. Вайнерман А.Е., Веселков В.Д. Свойства соединений разнородных металлов при плазменной наплавке. - Сварочное производство, 1968, №21, - С. 21-34.

17. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных. - М.: Колос, 1967. - 19 с.

18. Верхотуров А.Д. Исследование закономерностей процесса электронно-лучевого легирования поверхностей тугоплавкими металлами и соединениями: Автореф. дис. канд. техн. наук. - Киев, ИГиМ АН УССР, 1971. - 34 с.

19. Власов В.М. Работоспособность упрочненных трущихся поверхностей. - М.: Машиностроение, 1987. - 304 с.

20. Волков Д.П., Николаев С.Н. Надежность строительных машин и оборудования. - М.: Высшая школа, 1979. - 400 с.

21. Волченкова Р.А. Связь между теплосодержанием, физико-механическими и эрозионными характеристиками металлов. - Электронная обработка материалов, 1973, №4, С. 58-62.

22. Гладкий П.В., Переплетчиков Е.Ф., Фрумин И.И. Плазменная наплавка с присадкой порошков. Резка, наплавка и сварка сжатой дугой. М.: ЦИИИТИ, 1968.

23. Гладкий П.В., Фрумин И.И. Плазменная наплавка. - /Автоматическая сварка, 1965, №23, С. 43-56.

24. Гржиманский Л.Л. К вопросу о механизме самофлюсования припоев. - Сварочное производство, 1966, №11, С. 9-17.

25. Грибенченко А.В. Исследование влияния режимов плазменной наплавки и состава порошка на формирование металлопокрытий. Материалы VI региональной конференции молодых исследований. /Волгоград. гос. е.х. акад. Волгоград, 2002. С. 110-112.

26. Грохольский Н.Ф. Восстановление деталей машин и механизмов сваркой и наплавкой. - М.Л.: машиностроение, 1968. - 275 с.

27. Гудремон Э. Специальные стали, т. 1. - М.: Металлургия, 1966. - 736 с.

28. Демко А.А. Исследование фреттингпроцесса в условиях работы сопряжений сельскохозяйственных машин: Автореф. дис. канд. техн. наук. - Киев, 1972.

29. Доценко Н.И. Восстановление автомобильных деталей сваркой и наплавкой. - М.: Транспорт, 1972. - 351 с.

30. Дудин Б.М. Исследование механизированного процесса электроимпульсного наращивания изношенных деталей тракторов и сельскохозяйственных машин на переменном токе: Автореф. дис. канд. техн. наук. - Челябинск, 1968.

31. Ермолов Л.С., Кряжков В.М., Черкун В.Е. Основы надежности сельскохозяйственной техники. - М.: Колос, 1974. - 223 с.

32. Ерохин А.А. Основы сварки плавлением. - М.: Машиностроение, 1973. - 448 с.

33. Жуков В.В. Ремонт машин инженерного вооружения. М.: ВИА, 1969. - 320 с.

34. Зингерман А.С. Тепловые теории электрической эрозии. - В кн.: Электрические контакты. - М.-Л., 1960, С. 136-143.

35. Золотых Б.Н., Коробова И.П., Сурьгин Э.М. Роль механических факторов в процессе эрозии в импульсном разряде. - Электронная обработка материалов, 1966, №5, С. 16-24.

36. Иванов Г.П. Технология электроискрового упрочнения инструментов и деталей машин. - М.: Машгиз, 1961, - 303 с.

37. Казарцев В.И. Ремонт машин. - М.: Сельхозиздат, 1961. - 425 с.

38. Каленский В.К. и др. Исследование и разработка способа автоматической наплавки клапанов автомобилей. - / Автоматическая сварка, 1963, №1, С. 24-35.

39. Клименко Ю.В. Оценка способов восстановления деталей металлопокрытия. - Техника в сельском хозяйстве, 1974, №2, С. 34-39.

40. Косолапов Т.Я. Карбиды. - Киев: Наукова думка, 1968. - 299 с.

41. Коморный А.В. Восстановление деталей при ремонте дорожно-строительных машин с помощью установок электроискрового легирования. - Электронная обработка материалов, 1974, №5, С. 25-32.

42. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах. - Киев: Техника, 1970. - 395 с.

43. Крагельский И.В. Трение и износ. - М.: Машиностроение, 1968. - 480 с.

44. Красулин Ю.Л., Кулагин И.Д. Регулирование температуры сварочной ванны при наплавке плазменной струей. - / Автоматическая сварка, 1966, 234 с.

45. Кряжков В.М. Научные основы восстановления работоспособности сопряжений деталей сельскохозяйственных тракторов применением металлопокрытий и упрочняющей технологии. - Дис. д-ра техн. наук. - Л., 1973.

46. Кряжков В.М., Баранов Ю.Н., Буйлов К.Н. и др. Восстановление деталей сельскохозяйственной техники механизированной наплавкой с применением упрочняющей технологии. - М.: ГОСНИТИ, 1972. - 208 с.

47. Кугель Р.В. Статистические характеристики распределения ресурсов шарикоподшипников. - Вестник машиностроения, 1971, №3, С. 9-12.

48. Кузнецов Э.Г. Исследование восстановления автомобильных деталей типа «вал - втулка» с использованием электрофизических способов обработки. - Дис. канд. техн. наук. - М., 1979.

49. Кунин Л.Л. Поверхностные явления в металлах. - М.: Металлургиздат, 1965. - 204 с.

50. Курчаткин В.В. Надежность и ремонт машин. - М.: Колос, 2000. - С. 216-

51. Лазаренко Б.Р. Восстановление и увеличение износостойкости деталей машин способом электроискрового нанесения покрытий и упрочнения. - В кн.: Повышение долговечности машин / М.: Машгиз, 1956, С. 228-233.

52. Лазаренко Б.Р., Лазаренко Н.И. Электроискровая обработка токопроводящих материалов. - М.: Изд-во АН СССР, 1959. - 184 с.

53. Лазаренко Н.И. Изменение исходных свойств поверхности катода под воздействием электрических импульсов, протекающих в газовой среде. - В сб.: Электроискровая обработка металлов / М.: Изд-во АН СССР, 1957, Вып. 1, С. 70-

96.

54. Лазаренко Н.И. Современный уровень и перспективы развития электроискрового легирования металлических поверхностей. - Электронная обработка материалов, 1967, №5, С. 46-58.

55. Левин В.Г. Физико-химическая гидродинамика. - М.: Изд-во АН СССР, 1952. - 243 с.

56. Левитский И.С., Смелов А.П., Степанов В.А., Черкун В.Е. Технология ремонта машин и оборудования. М.: Колос, 1975. - 560 с.

57. Лившиц Л.Г., Поляченко А.В. Восстановление автотракторных деталей. - М.: Колос, 1966. - 479 с.

58. Лившиц Л.С., Гринберг Н.А., Куркумелли Э.Г. Основы легирования наплавленного металла. - М.: Машиностроение, 1969. - 188 с.

59. Лоза Г.М., Удовенко Е.Я. и др. Методика определения экономической эффективности использования в сельском хозяйстве результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. - М.: Россельхозиздат, 1984. - С. 9-12.

60. Луневский И.И. Исследование процессов восстановления автотракторных деталей с целью повышения их долговечности. - Дис. д-ра техн. наук. - Л.: ЛСХИ, 1969.

61. Маслов Н.Н. Исследование влияния режимов технологических процессов на качество ремонта машин. - Л., 1968, - С. 34-39.

62. Никифоров Г.Д. О механизме образования соединений при сварке и пайке. - Сварочное производство, 1967, №12, С. 13-19.

63. Ольшанский А.В. Теоретические основы эксплуатации и ремонта машин инженерного вооружения. - Калининград: КВИУИВ, 1977. - 170 с.

64. Патон Б.Е. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением. - М.: Машиностроение, 1974. - 768 с.

64. Пацкевич И.Р. Вибродуговая наплавка. - М. - Свердловск: Машгиз, 1958. - 120 с.

65. Петров М.Ю. Упрочнение рабочих органов почвообрабатывающих машин композиционными материалами. Автореф. канд. дис. Москва, 2005.

66. Петров Ю.Н. Основы ремонта машин. - М.: Колос, 1972. - 527 с.

67. Петров Г.Л., Земзин В.А. Влияние ферритной фазы на кристаллизацию аустенитного наплавленного металла и образование горячих трещин. - Сварочное производство, 1967, №2, С. 56-64.

68. Пинегин С.В. Опоры качения в машинах. - М.: Изд-во АН СССР, 1971. - 152с.

69. Поляченко А.В., Пеномарев Г.П. Способы восстановления неподвижных посадок. - Техника в сельском хозяйстве, 1958, №11, С. 40-44.

70. Походня И.К. Газы в сварных швах. - М.: Машиностроение, 1972. - 256 с.

71. Рыкалин Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. - М.: Машиностроение, 1951. - 296 с.

72. Сабеев К.Г. Разработка и исследование технологии восстановления деталей турбинных двигателей широкослойной наплавкой. Автореф. дис. канд. техн. наук. - Саратов, 1980.

73. Савицкий Е.М., Бурханов Г.С. Металловедение сплавов тугоплавких и редких металлов. - М.: Наука, 1971. - 470 с.

74. Самсонов Г.В., Верхотуров А.Д., Бовкун Г.А., Сычев В.С. Электроискровое легирование металлических поверхностей. - Киев: Наукова думка, 1976. - 219 с.

75. Самсонов Г.В., Верхотуров А.Д., Репкин Ю.Д. Закономерности формирования упроченного слоя в процессе электроискрового легирования. - Физика и химия обработки материалов, 1972, №2, С. 110-117.

76. Семченко В.К. Поверхностные явления в металлах и сплавах. М.: Машгиз, 1957. Ульман И.Е. Исследование прогрессивных способов наращивания и обработки восстанавливаемых изношенных деталей. - Сб. научн. тр. / ЧИМЭСХ, 1971, Вып. №2, С. 35-42.

77. Сидоров А.И. Наплавка плазменной дугой. Труды Всесоюзного сельскохозяйственного института заочного образования, ч. II, М., 1967. С. 23-31.

78. Стеренбоген Ю.А., Хорунов В.Ф., Грецкий Ю.Я. Сварка и наплавка чугуна. - Киев: Наукова думка, 1966. - 215 с.

79. Сучков О.К. Износостойкая наплавка деталей. - М.: Колос, 1974. 120 с.

80. Тарасов Ю.С. Исследование электроконтактного напекания металлических порошков как возможного способа восстановления деталей. Автореф. дис. канд. техн. наук. - Челябинск, 1969. - 13 с.

81. Технологический процесс плазменной наплавки коренных и шатунных шеек коленчатых валов. ООО «Борид» г. Белгород. 1997.

82. Удовенко Е.Я., Шлихтер А.Г. и др. Методика определения экономической эффективности законченных научно-исследовательских и проектно-конструкторских работ по сельскому хозяйству. - Москва, 1977. - 23 с.

83. Усов Л.Н., Борисенко А.И. Применение плазмы для получения высокотемпературных покрытий. - М.: Наука, 1965. - 82 с.

84. Ульман И.Е. Исследование прогрессивных способов наращивания и обработки восстанавливаемых изношенных деталей. - Сб. научн. тр. / ЧИМЭСХ, 1971, Вып. 64, С. 45-60.

85. Ульман И.Е. Ремонт машин. - М.: Колос, 1967. - 325 с.

86. Федорченко И.М., Скороход В.В. Теория и практика спекания. Порошковая металлургия, 1967, №19, С.24-32.

87. Фрумин И.И. Автоматическая электродуговая наплавка. - Харьков: Металлургиздат, 1961. 137 с.

88. Харченко Г.И. Диффузионная сварка. - Автоматическая сварка, 1965, №2. С.15-19.

89. Хасун А., Моригаки О. Наплавка и напыление. - М.: Машиностроение, 1985. - 246 с.

90. Химушин Ф.Ф. Легирование, термическая обработка и свойства жаропрочных сталей и сплавов. - М.: Оборониздат, 1962. - 336 с.

91. Шадричев В.А. Ремонт автомобилей. - М.: Высшая школа, 1970. - 480 с.

92. Шевчук В.П., Ракин Я.Ф. и др. Трактор ДТ-175С. - М.: Агропромиздат, 1988. - 88 с.

93. Югансон Э.Ю. Исследование процессов соединения меди и ее сплавов со сталью и чугуном струей перегретого металла. Труды института металлургии им. Байкова, Вып. 2, 1957. С. 34-45.

94. Cambel A.B. «Plasma Physics and Magneto - fluidmechanics», McGraw - Hill.

1963

95. Erdmann Jessniterer F. Beitrag zu Physikalischen Yesetzmasig Rechten bei Elchtroschu riBurerfasiren und Miitzung magnefisecher Felder - schweisstechnir, 1967, 21, № 5, p. 53-59.

96. Matting A., Delventhal B. Der Plasma - Strahl und seine Anwendungenmoglichkeiten. «Schweiptechnir», 1964, №4.

97. Окада М., Арата Ё. Плазма и ее применение в технике. «Никкан когё симбунся», 1966.

98. Такэи Т., Нагасака Х. Нанесение покрытий способом напыления. «Никкан когё симбунся», 1964.

99. Walter F., Metzler J. Plasmatechnick. «Technic Mitt», 1966, №11, p. 36-45.

100. Witting E. Grundlagen und anwendungen der Plasma - Verfahren. «Schweipen und Schneiden», 1962, №5, p. 9-15.

101. Zuchowsri R.S. and Garrabrand E. New developments in Plasma arc weld Surfacing. - «Welding Journal», 1964, №1.

102. А.С. 418302 (СССР). Устройство для нанесения металлических покрытий /Калининградский технический институт рыбной промышленности и хозяйства; ав.изобрет. Абрамов В.И., Чемисов Б.П., Шулев Г.С. - Заявл. 28.02.72, X21752904/2578, опубл. в Б.И., 1974, №9.

103. А.С. 474418 (СССР). Способ электроискрового нанесения покрытий. Физико-технический институт АН Белорусской ССР; авт. изобрет. Бакуто И.А.,

Некрашевич И.Г., Мишкевич М.К. - Заявл. 02.07.71, №1677357/25-8; опубл. в Б.И., 1975, №23.

104. А.С. 721305 (СССР). Способ нанесения металлических покрытий / Новополоцкий политехнический институт; авт. изобрет. Чемисов Б.П., Абрамов В.И. - Заявл. 03.03.77, №2462778/25-08; опубл. в Б.И., 1980, №10.

105. А.С. 837717 (СССР). Способ электроискрового нанесения покрытий / Волгоградский сельскохозяйственный институт; авт. изобрет. Абраменко Н.Е., Сучков О.К. и Онищенко В.И. - Заявл. 07.05.79, №2764093/25-08; опубл. в Б.И., 1981, №22.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП **ДОДАТКИ** України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

Залежність товщини шару Н від сили робочого струму (J) та частоти обертання деталі n_d

Частота обертання деталі, n_d	Сила робочого струму, А	Товщина шару, Н
1,6	180	0
1,7		1,16
1,8		1,18
2,1		1,17
2,3		1,14
2,5		1,08
2,7		1,07
3,0		1,06
3,3		1,05
3,5		1,03
2,0	230	0
2,1		1,31
2,2		1,35
2,4		1,27
2,5		1,12
2,7		1,18
2,8		1,17
3,0		1,15
3,3		1,12
3,5		1,11
2,4	250	0
2,5		1,23
2,7		1,30
2,8		1,27
3,0		1,20
3,1		1,18
3,2		1,17
3,5		1,16

НУБІП України

Залежність зони теплового впливу $h_{з.т.в.}$ від сили робочого струму I та частоти обертання деталі n_d (продуктивності C)

Частота обертання деталі, n_d , об/хв	Сила робочого струму, А	Глибина зони термічного впливу, мм
1,5	180	0,5
2		0,2
2,5		0,15
3		0,1
3,5		0,05
1,5	230	0,7
2		0,4
2,5		0,25
3		0,2
3,5		0,1
1,5	250	0,9
2		0,8
2,5		0,5
3		0,35
3,5		0,2

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП УКРАЇНИ

Вплив частоти обертання деталі n_d , сили робочого струму A та складу порошкової суміші на глибину верхнього дефектного шару h

Частота обертання деталі, n_d , об/хв	Сила робочого струму, A	Марка порошку	Глибина верхнього дефектного шару, h , мм
1,5	180	ПР-400Н25С6Г3Х3Р	0,2
2			0,08
2,5			0,04
3			0,02
3,5			0,01
1,5	180	ПР-Н4Д2М	0,28
2			0,12
2,5			0,05
3			0,04
3,5			0,03
1,5	230	ПР-400Н25С6Г3Х3Р	0,25
2			0,14
2,5			0,08
3			0,06
3,5			0,05
1,5	230	ПР-Н4Д2М	0,3
2			0,16
2,5			0,1
3			0,08
3,5			0,07
1,5	250	ПР-400Н25С6Г3Х3Р	0,65
2			0,35
2,5			0,22
3			0,19
3,5			0,1
1,5	250	ПР-Н4Д2М	0,7
2			0,54
2,5			0,38
3			0,26
3,5			0,23

НУБІП УКРАЇНИ