

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему: **«Підвищення експлуатаційної стійкості деталей
наплавленням робочого шару»**

Виконав: студент II курсу групи Маш-22сп

Спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва)

Максим КОМАРНИЦЬКИЙ

(Ім'я та прізвище)

Керівник: д.т.н. проф. Віталій ВЛАСОВЕЦЬ

(Ім'я та прізвище)

Дубляни 2023

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ**

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри _____

(підпис)

д.т.н., професор Власовець В.М.

“ _____ ” _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту
Комарницькому Максиму Ігоровичу

1. Тема роботи: **«Підвищення експлуатаційної стійкості деталей наплавленням робочого шару»**

Керівник роботи: Власовець Віталій Михайлович, д.т.н., професор

Затверджена наказом по університету від 30.12.2022 року № 453/К-С

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 23.06.2023 року

3. Вихідні дані: Літературні джерела за тематикою відомих технологічних процесів поверхневого зміцнення; Матеріали навчальної, методичної довідкової та наукової літератури; Методики визначення економічної ефективності впровадження нового технологічного рішення у виробництво.

4. Перелік питань, які необхідно розробити:

1. Огляд інформаційних джерел та задачі дослідження.

2. Методологія, матеріал та методи дослідження.

3. Підвищення довговічності деталей

4. Економічне обґрунтування.

Висновки

Список використаних джерел _____.

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

1. Основні способи легування при наплавленні під шаром флюсу - 1-ий аркуш.

2. Взаємозв'язок магнітного параметру та твердості валів після експлуатації - 2-ий аркуш.
3. Вплив дефектів на магнітний параметр - 3-ий аркуш.
4. Характеристики шлаку – 4 -ий арк.
5. Структура покриття – 5 -ий арк.
6. Вплив домішки на характеристики покриття, техніко-економічне обґрунтування – 6-ий арк.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1,2,3,4	Власовець В.М., д.т.н., проф. кафедри машинобудування			

7. Дата видачі завдання: 30.12.2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1.	<i>Виконання розділу: «Огляд інформаційних джерел та задачі дослідження»</i>	<i>23.01.23-17.02.23</i>	
2.	<i>Виконання другого розділу: «Методологія, матеріал та методи дослідження»</i>	<i>20.02.23-11.04.23</i>	
3.	<i>Виконання розділу: «Підвищення довговічності деталей»</i>	<i>12.04.23-05.05.23</i>	
4.	<i>Виконання розділу: «Економічне обґрунтування»</i>	<i>08.05.23-15.06.23</i>	
5.	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки. Завершення роботи в цілому</i>	<i>16.06.23-23.06.23</i>	

Студент _____ Максим КОМАРНИЦЬКИЙ
(підпис)

Керівник роботи _____ Віталій ВЛАСОВЕЦЬ
(підпис)

УДК 665. 340

Підвищення експлуатаційної стійкості деталей наплавленням робочого шару.

Комарницький М.І. - Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2023.

48 с. текст. част., 5 рис., 3 табл., 12 джерел, презентація графіч. част.

Проаналізовано існуючі технології види і способи наплавлення валів, технології наплавлення, визначено особливості наплавлення різних видів металу для формування стійких в експлуатації покриттів. Виконано оцінку основних матеріалів та технологій нанесення зносостійких покриттів та обрано найбільш раціональне співвідношення вартість/якість нанесеного металу - відновлення валів наплавленням під шаром флюсу є використання дроту типу 30ХГСА з плавним флюсом АН348 з використанням домішки.

ЗМІСТ

	Стор
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ	7
1.1 Види і способи наплавлення валів центрифуг	7
1.2 Технологія наплавлення	7
1.3 Наплавлення різних видів металу	17
1.4 Висновки та задачі дослідження	24
РОЗДІЛ 2. МЕТОДОЛОГІЯ, МАТЕРІАЛ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	25
2.1 Методологія досліджень	25
2.2 Матеріал досліджень	26
2.3 Магнітний контроль властивостей	28
РОЗДІЛ 3. ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ДЕТАЛЕЙ	30
3.1 Прогнозування стану базової деталі за коерцитивною силою	30
3.2 Розробка оціночних критеріїв для забезпечення необхідного рівня властивостей після термічної обробки	33
3.3 Флюс для нанесення покриття	35
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	41
4.1 Визначення економічної ефективності	41
ВИСНОВКИ	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	47

ВСТУП

Технологічний процес нанесення шару металу на поверхню деталі або виробу зварюванням плавленням називається наплавленням. Метал, що наноситься наплавленням на поверхню деталі, називається наплавленим, метал деталі або виробу - основним. Наплавлення застосовується як при ремонті зношених деталей (ремонтне, відновне), так і при виготовленні нових (виготовче). Ремонтне наплавлення може бути відновлювальним або зносостійким, виготовче наплавлення - завжди зносостійке.

Наплавлення називається відновним, якщо виконується з метою відновлення розмірів зношеної деталі до номінальних. При цьому хімічний склад і інші характеристики напавленого металу не відрізняються (або незначно відрізняються) від основного. Значення відновного наплавлення полягає у тому, що відновлена деталь частіше дешевша нової при еквівалентності службових властивостей. Якщо за допомогою наплавлення розв'язується задача забезпечення особливих властивостей поверхні: високої зносостійкості, корозійної, ерозійної, навігаційної стійкості, жаростійкості і т.д. - таке наплавлення називається зносостійким. При зносостійкому напавленні напавлений метал відрізняється від основного по хімічному складу, механічним і фізичним властивостям. Умови служби деталей визначають вибір матеріалів, напавлення яких забезпечує отримання біметалічних виробів, таких як: вали центрифуг, деталі арматури, ріжучий і буровий інструмент, деталі в гірському і транспортному машинобудуванні і ін.

У більшості промислово розвинених країн працюють спеціалізовані підприємства як по виготовленню напавлювальних матеріалів і устаткування, так і по виробництву напавлювальних робіт при ремонті і виготовленні автомобілів, тракторів, будівельних машин, металургійного і гірського устаткування. Широко відомі фірми Кастоллін, Плазмодайн, Перма, УТЛІЙ, ЕСАБ і ін., важливою частиною продукції яких, є матеріали для напавлення, устаткування і технологічні процеси.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Види і способи наплавлення валів центрифуг

В даний час запропонована і розроблена велика кількість способів наплавлення валів центрифуг. Серед чисельних способів наплавлення завжди можна знайти аналоги відповідним зварювальним процесам, табл.1.1.

Слід зазначити, що, як і будь-яка класифікація, запропонований розподіл в якійсь мірі умовний. У основу класифікації встановлене утворення зварного з'єднання (зв'язки металевого характеру) між наплавленим і основним металом, що і відрізняє наплавлення від так званих суміжних процесів; детонаційних, гальванічних, дифузійних, металізаційних та інших покриттів.

Як по номенклатурі деталей, що наплавляються, так і по масі наплавленого металу провідна роль належить дуговому наплавленню. Більше 70% від загальної маси наплавленого металу наплавляється дуговими способами.

Форсування режимів експлуатації існуючого устаткування, розробка новітніх технологічних процесів, заснованих на використанні прогресивних конструкцій і матеріалів, посилюють вимоги, як до наплавленого металу, так і способам його нанесення. Останніми роками знаходять все більше застосування процеси плазмового, електрошлакового, індукційного, контактного і дифузійного наплавлення.

1.2. Технологія наплавлення

Основні параметри, представлених в табл.1 способів наплавлення, аналогічні відповідним способам зварювання, тому нижче будуть розглянуті окремі, характерні для наплавлення особливості процесів.

Таблиця 1.1 - Класифікація видів і способів наплавлення валів центрифуг

Вид наплавлення	Спосіб наплавлення
Дугове	Ручне: а) неплавким електродом; б) покритими електродами; Автоматичне і напівавтоматичне: а) під флюсом; б) самозахисним дротом і стрічкою; в) плавким електродом в захисному газі або суміші газів; г) неплавким електродом; д) лежачим електродом;
Плазмове	Плазмово-порошкове: з фіксованою присадкою; з рухомою присадкою; з частковим плавленням (армування); мікроплазмове
Електрошлакове	Із застосуванням кристалізаторів Стрічками Стикошлакове
Газове	З присадкою прутків, дроту або стрічок Газопорошкове
Індукційне	З твердим присадним матеріалом З рідким присадним матеріалом З частковим плавленням (армування);
Плакування	Вибухом Куванням і плющенням Контактне наварювання (наплавлення) Дифузійне у вакуумі
Інші процеси	Електроіскрове зміцнення Пічне наплавлення (просочення тугоплавких зерен сплавом-зв'язкою) Металізація з подальшим оплавленням Магнітно-порошкове зміцнення

Ручне дугове наплавлення неплавким електродом виконується на повітрі вугільними або графітними електродами на постійному або змінному струмі.

На ту, що наплавляється, переважно плоску, поверхню насипають наплавлювальну суміш або наносять шар пасти, які потім розплавляють теплом дуги. Товщина наплавленого металу складає звичайно 1-2 мм. У ряді випадків замість цього процесу застосовують наплавлення неплавким вольфрамовим електродом в аргоні.

На відміну від наплавлення вугільним електродом застосування вольфрамового електроду забезпечує вищу якість наплавленого металу, робить процес маневренішим і прецизійним.

При наплавленні покритими електродами застосовують як зварювальні, так і спеціальні наплавлювальні електроди (електроду з легованим сердечником або з легуючим покриттям). Процес застосовують, як правило, для відновлення і зміцнення зношених деталей складної геометричної конфігурації (штампи, пресформи, інструмент), коли об'єм наплавленого металу невеликий [1].

Автоматичне наплавлення під флюсом - найпоширеніший і найбільш вивчений процес

Наплавлення під флюсом вельми ефективний процес виготовлення біметалічних деталей і добре випробуваний спосіб відновлення зношених. Найбільше поширення він набув при відновленні коштовних деталей з великими робочими поверхнями; де вимагається наплавити з високою продуктивністю велику кількість металу високої якості.

Забезпечення високої продуктивності при одноелектродному наплавленні за рахунок підвищення зварювального струму недоцільне. Із збільшенням струму, різко зростає тиск потоку металевої пари і дії електродинамічних сил на поверхню ванни (тиск пропорційний квадрату зварювального струму) збільшується глибина проплавлення і, отже, частка основного металу в наплавленому. Небажаною особливістю одноелектродного наплавлення на підвищених режимах є збільшена довжина зварювальної ванни, великий об'єм розплавлених металу і шлаку, що може приводити до таких дефектів, як несплави, погане формування, набрякання металу і шлаку при наплавленні тіл обертання [2].

Усунення перерахованих дефектів можливе шляхом як застосування певних технічних прийомів, так і різновидів самого процесу. Прикладом прийому, що дозволяє зрівноважити тиск дуги є зсув електроду із zenіту при наплавленні тіл обертання. При цьому тиск дуги врівноважується зміною рівня рідкого металу у області поверхні нормальної осі електроду.

До різновидів дугового наплавлення під флюсом відносяться: наплавлення стрічкою, наплавлення з поперечними коливаннями електроду, багатоелектродне і багатодугове наплавлення (рис.1.1). Відповідно до теорії розповсюдження тепла чим більше ширина стрічки, тим менше глибина проплавлення, тим ширша і коротше ванна розплавленого металу.

Застосування наплавлення з поперечними коливаннями електроду також сприяє отриманню меншої частки основного металу в наплавленому, збільшенню ширини і зменшенню довжини ванни. Багатоелектродне наплавлення здійснюється декількома електродами, розташованими в лінію перпендикулярно напрямку руху. Електроди підключаються до одного полюса джерела струму. В процесі наплавлення дуга, переміщаючись з одного електроду на іншій з великою швидкістю, утворює загальну ванну. Багатоелектродне наплавлення дає результати, близькі з тими, які виходять при наплавленні стрічкою або однодуговим наплавленням з поперечними коливаннями. У всіх цих прикладах збільшення продуктивності досягається за рахунок переміщення дуги по поверхні ванни, що дозволяє проводити наплавлення на великих струмах при оптимальній частці основного металу в наплавленому.

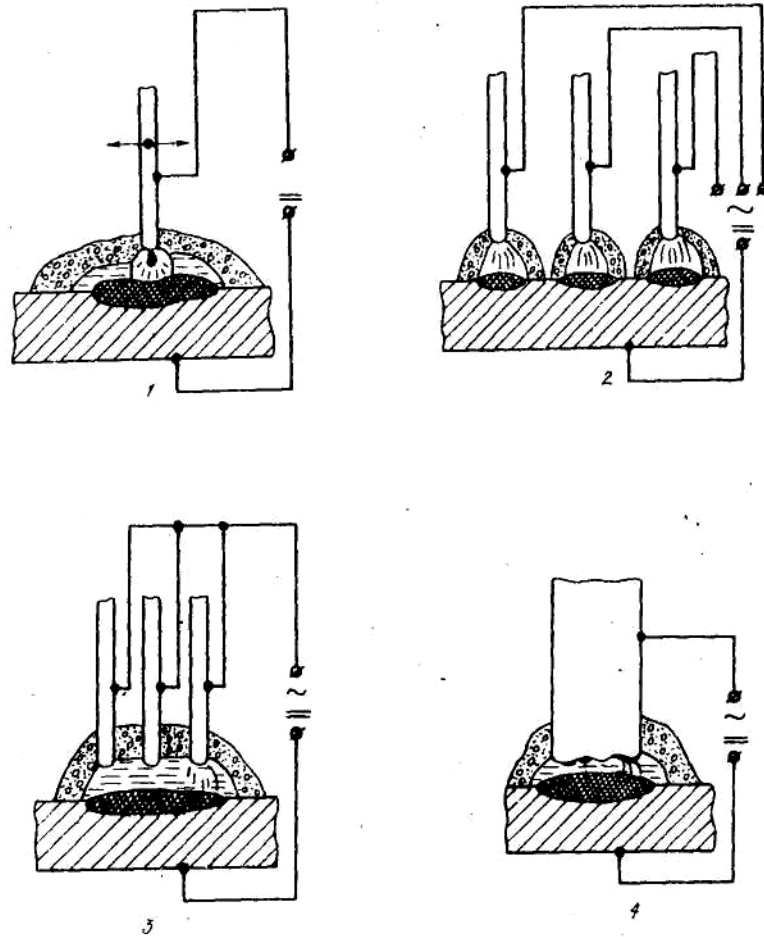


Рисунок 1.1. - Варіанти наплавлення шийок валів центрифуг під шаром флюсу (зліва направо):

1-електродною стрічкою; 2-електродне; 3-дугове; 4-з поперечними коливаннями (широкошарове)

Багатодугове наплавлення передбачає застосування одночасно декількох наплавлювальних апаратів або одного апарату з декількома, ізольованими один від одного, подаючими пристроями. Кожен електрод має живлення від окремого джерела, наплавлення ведеться без утворення загальної ванни, кожна дуга формує свій вал на стандартному режимі. Збільшення продуктивності в цьому випадку пов'язане з обслуговуванням декількох дуг одним оператором.

Наплавленням під флюсом, як правило, наплавляють шар металу від 3 мм і більше, досить однорідного по складу з мінімальною кількістю металургійних дефектів.

Умови праці при автоматичному наплавленні під флюсом кращі, ніж при ручному.

До недоліків наплавлення під флюсом слід віднести обмежені можливості управління переміщенням дуги по траєкторії через нездійсненність точного візуального контролю, необхідність застосування різних підформуючих і флюсоутримуючих пристроїв, складність або неможливість здійснення процесу наплавлення в різних просторових положеннях, відсутність надійних технічних рішень по механізації процесу видалення шлакової кірки.

Наплавлення відкритою дугою і в захисних газах покликане усунути відмічені недоліки наплавлення під флюсом. Наплавлення відкритою дугою порошковим дротом здійснюється без додаткового захисту зони горіння дуги флюсом або інертними газами, стабілізація дугового розряду і захист розплавленого металу від азоту і кисню повітря забезпечується введенням в електродний матеріал комплексу розкислювачів і мінералів.

Застосовується як автоматичне, так і напівавтоматичне наплавлення відкритою дугою. При напівавтоматичному наплавленні самозахисний порошковий дріт подається в зону горіння дуги по гнучкому шлангу, траєкторію переміщення дуги в потрібному напрямі і оптимальну швидкість переміщення забезпечує наплавлювальник вручну.

Простота, маневреність, можливість наплавлення деталей складної геометричної конфігурації, візуальний контроль, за формуванням наплавленого шару, можливість наплавлення в різних просторових положеннях - основні переваги цього процесу. Істотно і те, що при наплавленні відкритою дугою самозахисним порошковим дротом наплавлений метал покритий тонкою плівкою шлаку, яка при накладенні наступних валів переплавляється дугою, не перешкоджаючи їх нормальному формуванню. Ця особливість добре використовується для автоматизації процесу наплавлення, оскільки відсутня необхідність в безперервному видаленні шлакової кірки.

Останнім часом широке поширення набуло автоматичне наплавлення порошковою самозахисною стрічкою. Цей процес забезпечує велику

продуктивність. Для наплавлення відкритою дугою використовується також і активований дріт, що містить в невеликих кількостях легуючі і модифікуючі елементи.

Автоматичне і напівавтоматичне наплавлення в середовищі захисних газів найчастіше використовує плавкий електрод. Як плавкі електроди застосовуються дроти малого діаметру з низьколегованих сталей, у ряді випадків - порошкові. Наплавлення виконується в середовищі вуглекислого газу, аргону, азоту або різних сумішей цих газів.

Автоматичне наплавлення неплавким електродом (вольфрамовим) здійснюється в середовищі аргону або гелію, присадний матеріал у вигляді прутків або дроту малого діаметру подається в зону горіння дуги спеціальними пристроями (подаючими механізмами). По продуктивності цей процес значно поступається наплавленню самозахисним порошковим дротом. До переваг процесу можна віднести можливість наплавлення тонкого шару ($\delta = 0,5$ мм) при меншій частці основного металу.

Плазмове наплавлення відноситься до прецизійних процесів наплавлення, оскільки дозволяє наплавити шар заданої товщини (від 0,5 до 5,0 мм), як на всю деталь, так і на певну ділянку з лімітованою часткою основного металу (5-10%). Відомі декілька різновидів наплавлення плазмовою дугою, особливостями яких є: використовуваний вид присадного матеріалу (порошок, дріт, пруток і т.д.), спосіб його транспортування в плазмову дугу і ступінь закінченості процесу розплавлення [3].

На рис.1.2. приведена схема плазмово-порошкового наплавлення. Гранульований порошок (фракція 80-160 мкм) певного хімічного складу транспортується газом в дугу по спеціальних каналах сопла 3 і розплавляється (або нагрівається до температур, близьких до температури плавлення) в стовпі плазми. Стовп плазми утворюється за рахунок тепла дугового розряду, стабілізованого і сфокусованого потоком плазмоутворюючого газу в соплах 2 і 3. Захисний газ подається через сопло 4 і оберігає зону плавлення від контакту розплавленого металу з повітрям. Джерело 5 служить для живлення дуги між

електродом 1 і соплом 2 (допоміжна або непряма дуга); джерело 6 формує основну дугу, або дугу прямої дії.

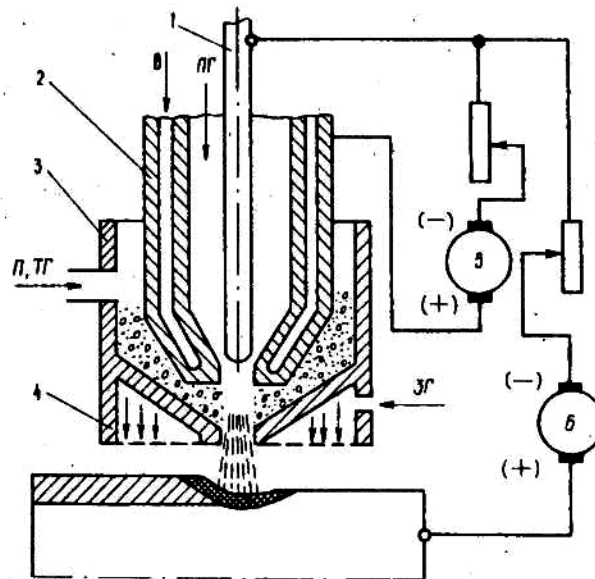


Рисунок 1.2. - Плазмово-порошкове наплавлення: В - вода; ПГ – плазмотворюючий газ; П - порошок; ТГ - транспортуючий газ; ЗГ - захисний газ (опис схеми даний в тексті);

Процес плавлення порошку починається в допоміжній дузі і закінчується в основній. Дуга прямої дії є основним джерелом тепла, як для плавлення присадного порошку, так і для оплавлення поверхні виробу. Змінюючи величини струму обох дуг, кількість вдуваного порошку, розміри сопл, витрату плазмотворюючого газу, регулюють частку основного металу в наплавленому, продуктивність процесу і параметри наплавленого валу.

Останнім часом намітилися тенденції відмови від джерела 5 і робота тільки за допомогою дуги прямої дії, що при незначному зниженні надійності приводить до істотного спрощення конструкції плазмотронів.

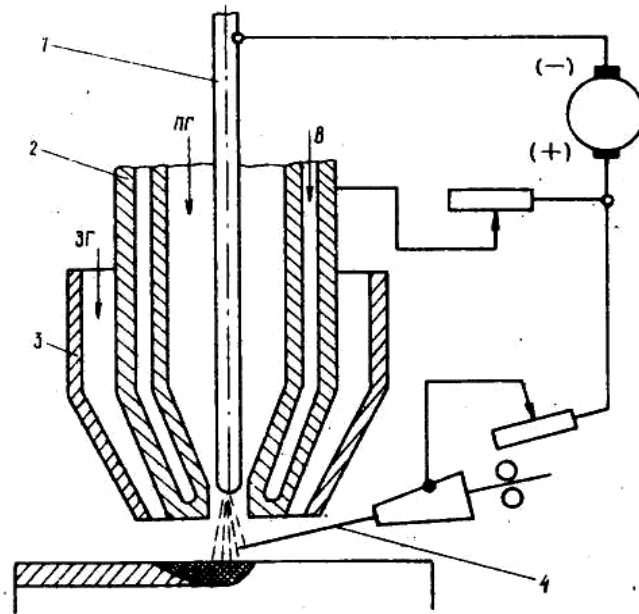


Рисунок 1.3. - Плазмове наплавлення з токоведучим присадним дротом:
1-електрод; 2 - плазмоутворююче сопло; 3 - захисне сопло; 4 - дріт

Спосіб плазмово-порошкового наплавлення набув найбільше поширення при нанесенні жаростійких сплавів на основі нікелю і кобальту і деяких типів швидкорізальних сталей.

Застосовуються і інші способи плазмового наплавлення, в яких як присадка використовується порошок, так звані способи наплавлення з нерухомою або фіксованою присадкою. При цьому порошок заздалегідь насипається на виріб і потім розплавляється плазмовою дугою прямої дії або з порошку (або суміші порошоків) виготовляються кільця або пластини, форма і розміри яких відповідають профілю, що наплавляється. Технологія виготовлення при напавленні з нерухомою присадкою - пресування з подальшим спіканням, точне литво або штампування.

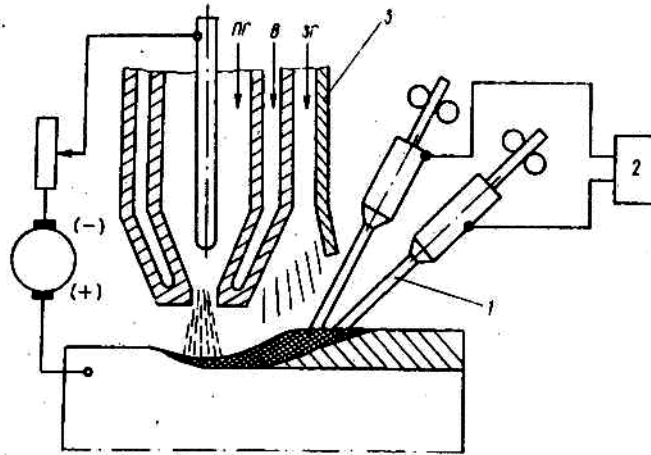


Рисунок 1.4. - Плазмове наплавлення з подачею у ванну двох плавких електродів:

1 - дріт; 2 - джерело підігріву; 3 - захисне сопло

На рис.1.4. показана схема плазмового наплавлення з рухомою присадкою. Як присадний матеріал можна використовувати як звичний, так і порошковий дріт і стрічку. Присадка може бути як нейтральною, так і токоведучою. По цій схемі найчастіше наплавляють нержавіючі сталі і кольорові метали і сплави (мідь, бронза і латунь).

Різновид процесу плазмового наплавлення з рухомою присадкою приведений на рис.1.4. В цьому випадку в хвіст ванни подаються дві електродні дроти, що підігріваються майже до температури плавлення проходячим струмом від додаткового низьковольтного джерела.

Плавлення дроту відбувається в хвостовій частині ванни, підігріті електроди і хвостова частина ванни захищаються газом, що поступає з сопла спеціальної конструкції. В цьому випадку продуктивність процесу плазмового наплавлення з 5-10 кг наплавленого металу в годину збільшується до 30 кг/год.

Мікроплазмова дуга застосовується для розплавлення задалегідь нанесених металізацією покриттів, переважно на деталях малої товщини. Товщина наплавленого шару 0,3-1,5 мм, товщина стінки деталі 1-6 мм. Можливий варіант використання мікроплазмової дуги для наплавлення з

присадкою звичного або порошкового дроту малого діаметру.

1.3. Наплавлення різних видів металу

Залежно від призначення застосовують наплавлений метал різного складу: сталі, чавуни, сплави на основі заліза, нікелю, кобальту і т.д.

Низьковуглецеві і низьколеговані сталі застосовуються переважно для відновного наплавлення. Твердість і мікроструктура наплавленого металу тісно зв'язані із швидкістю охолодження наплавленого металу в діапазоні температур розпаду аустеніту. Високі швидкості охолодження приводять до утворення мартенситу, присутності голчатого трооститу, що супроводжується зростанням твердості і пов'язаними з цим процесом окрихчуванням і можливістю утворення тріщин.

Надмірне зменшення швидкості охолодження приводить до розпаду значної частини аустеніту при високих температурах з утворенням перліту, що знаходить віддзеркалення в зниженні твердості і зносостійкості.

Оптимальна структура низьковуглецевого і низьколегованого металу виходить при охолодженні з швидкістю від 10 до 40 град/с у області температур 825 К. Із цього слідують основні рекомендації по наплавленню: необхідність попереднього підігріву масивних деталей до 300-550°C; його необов'язковість при напавленні деталей з незначною масою. Матеріали для наплавлення: традиційні зварювальні дроти, флюси, електроди.

Вуглецеві і низьколеговані сталі, що містять більше 0,40%С і сумарна кількість легуючих до 5% - найпоширеніший тип наплавленого металу, поєднуючий достатньо високу зносостійкість з малою вартістю.

Структура наплавленого металу - переважно мартенсит, голчатий троостит і залишковий аустеніт.

Твердість після наплавлення, залежно від хімічного складу і технологічних прийомів, від 46 до 62 HRC.

Характерною особливістю при напавленні цього типу металу є

необхідність попереднього підігріву до 620-700°K, що в більшості випадків гарантує відсутність тріщин.

Необхідна інформація про типи і види цих наплавлювальних матеріалів, а, у ряді випадків, і вказівки по технологічних прийомах наплавлення містяться у відповідних каталогах і проспектах фірм-виготівників матеріалів.

Високомарганцеві аустенітні сталі, що містять близько 13% Mn застосовуються для наплавлення деталей, що піддаються в процесі експлуатації дії сильних ударів.

Якнайкращі властивості має наплавлений метал, якщо забезпечена чисто аустенітна структура. Це досягається за рахунок достатньо великих швидкостей, охолоджувальних від 1220 К. При повільному охолодженні в межах зерен виділяється цементит, що приводить до різкого зниження в'язкості.

Тому при ручному дуговому напавленні регламентуються перетин валу і потужність дуги, при механізованому напавленні обов'язковими умовами є: підвищена швидкість напавлення, періодичні зупинки процесу, зміна місця напавлення, іноді - примусове охолодження.

З метою забезпечення більшої стабільності аустеніту напавлений метал додатково легують нікелем. Характерною особливістю цього типу напавленого металу є його схильність до зміцнення за рахунок утворення мартенситу деформації і фазового наклепу.

Твердість напавленого металу при цьому змінюється від 200 НВ (після напавлення) до 550 НВ (після зміцнення). Для напавлення сталей типу Г13 (сталь Гатфільда) розроблені електроди, суцільні і порошкові драти.

Стійкість хромонікелевих сталей проти загальної корозії в окислювальних агресивних середовищах висока, висока стійкість в умовах міжкристалітної корозії досягається зниженням змісту вуглецю до 0,02%. Оптимальною мікроструктурою є аустенітно-ферритна із змістом дельта-фериту від 2 до 8%. Напавлений метал в цьому випадку якнайменше схильний до утворення тріщин і малочутливий до подальших дій "небезпечних" температур 720-920°K, при яких відбувається частковий розпад аустеніту, супроводжуваний

виділенням по межах кристалів складних карбідів хрому і заліза, що приводить до високої схильності до міжкристалітної корозії.

Для наплавлення хромонікільових аустенітних сталей розроблені електроди, суцільні і порошкового дроту, холоднокатані, порошкові і спечені стрічки.

Хромові сталі, що містять більше 10% хрому, мають ряд цінних властивостей: стійкість проти корозії, висока міцність при звичних і високих температурах, висока зносостійкість та ін.

Низьковуглецевий (0,1-0,3% С) хромовий наплавлений метал має мартенситно-ферритну структуру. Залежно від характеру виробу, що наплавляється, і необхідної товщини шару наплавлення виробляють без підігріву або з підігрівом до 420-520°K.

Високовуглецеві (1-2% С) хромові сталі, дозволяють одержати надзвичайно високу зносостійкість. Після наплавлення мікроструктура - ледебурітна евтектика і залишковий аустеніт.

Наплавлення цих сталей виконується з попереднім підігрівом до 680-830°K і обов'язковим подальшим сповільненим охолодженням наплавлених деталей.

Залежно від умов експлуатації наплавлених деталей у ряді випадків проводять повну термообробку: відпал, та гартування з подальшою відпусткою по режимах інструментальних сталей. Наплавлення металу цього типу виконується електродами, самозахисними порошковими проволоками і стрічками, суцільними проволоками під флюсом і в захисних газах.

Хромовольфрамкові і хромомолібденові сталі мають високу міцність і в'язкість, для них характерні високі теплостійкість і термічна витривалість. При змісті вуглецю 0,8-1,2% наплавлений метал наближається по властивостях до класичної швидкорізальної сталі P18, що має значну зносостійкість при абразивному зносі з помірними ударами, як при звичних, так і при підвищених температурах.

Особливістю мікроструктури сталей цього типу є те, що карбіди в цих

сталях коагулюють надзвичайно повільно, завдяки чому, навіть при тривалому контакті з розжареним металом, наплавлена поверхня зберігає твердість і добре протистоїть зносу.

При наплавленні цих сталей необхідний попередній і супутній підігрів 770-870°K і подальше сповільнене охолодження.

Наплавлювальними матеріалами є: прутки, електроди, суцільного і порошкового дроту, гранульовані порошки.

Високохромові чавуни - найпоширеніший тип наплавленого металу, ефективно використовуваний для підвищення зносостійкості деталей, що працюють при звичних і підвищених температурах, що випробовують абразивний, газо- і гидроабразивні види зносу.

Основними складовими мікроструктури наплавленого металу є: карбіди хрому Cr_7C_3 , $Cr_{23}C_6$, залишковий аустеніт і ледебурітна евтектика. Зносостійкість наплавленого металу тісно пов'язана із співвідношенням карбідів і матриці, а також з розподілом карбідів. При надмірній кількості карбіди коагулюють і зносостійкість виявляється недостатньою.

Заевтектичні наплавлювальні сплави містять надмірні первинні карбіди з дуже високою зносостійкістю, введення в ці сплави бору ще більше збільшує зносостійкість за рахунок утворення вельми твердих карбоборидів.

В більшості випадків наплавлений метал працює з помірною кількістю тріщин, запобігти утворенню яких дуже важко.

Оскільки ці тріщини звичайно не переходять в метал деталі (локалізуються в наплавленому) і роблять неістотний вплив на працездатність деталі, їх мале розкриття і спрямованість регулюється технологією, то цей дефект вважається допустимим.

Для зменшення вірогідності утворення холодних тріщин наплавлення необхідно виконувати на основний метал або підшаровий з можливо низькою межею текучості. Попередній підігрів до 670-870°K і подальше сповільнене охолодження дозволять зменшити, а у ряді випадків і усунути утворення холодних тріщин.

Для наплавлення застосовують покриті електроди, прутки, гранульовані порошки, суміші, порошкові дроти і стрічки.

Хромокобальтові сплави (стеліти) - важлива і широко поширена група жароміцних сплавів. Вони мають високий опор зносу і окисленню при температурах до 1300°K, мають хорошу корозійну і ерозійну стійкість.

Специфікою наплавлення стелітів є необхідність забезпечення в наплавленому металі змісту заліза на мінімальному рівні $\leq 3\%$.

Тому, якщо застосовують як присадні матеріали литі прутки або покриті електроди, багат шарове наплавлення є обов'язковим.

Багато труднощів усуваються при плазмово-порошковому або газопорошковому наплавленні. Частка основного металу в наплавленому може бути, в цих випадках, обмежена 5-10%, що робить реальною можливість одношарового наплавлення.

Щоб попередити виникнення тріщин, стеліти наплавляють з попереднім (у ряді випадків і супутнім) підігрівом до 870-970°K і подальшим сповільненим охолодженням.

Нікелеві сплави з хромом і бором поєднують високу твердість при температурах до 870-970 K, зносостійкість, корозійну і ерозійну стійкість з цінними технологічними властивостями. Ці сплави легкоплавкі, мають властивості припоїв, що самофлюсуються. У структурі наплавленого металу, разом з складною евтектикою, є борид нікелю і хрому, а також і карбобориди.

Для попередження тріщин при наплавленні застосовується, попередній підігрів до 570-670 K.

Наплавлення здійснюється газопорошковим, плазмово-порошковим і іншими способами, а також газовим полум'ям з присадкою литих прутків.

Якість наплавленого шару істотно залежить від вмісту кисню в присадних матеріалах, зміст кисню не повинен перевищувати 0,1%.

У композиційних наплавлювальних сплавах (псевдосплавах) найчастіше застосовується як твердий компонент евтектичний сплав WC і W₂C, а як зв'язка - сплави на основі заліза, нікелю або міді.

Карбіди вольфраму W_2C і особливо WC значно перевершують решту твердих матеріалів по міцності і модулю Юнга. Інші важливі переваги - висока температура плавлення і висока густина, завдяки якій зерна карбідів вольфраму тонуть в розплавленій сталі.

Карбіди вольфраму швидко розчиняються в розплавлених металах при температурах вище $1470-1770^\circ K$, що зумовлює недоцільність їх використання в дугових процесах наплавлення і необхідність захисту їх поверхні від розчинення. Тому композиційні сплави наплавляють переважно газовим полум'ям або індукційним наплавленням, а поверхню зерен покривають шаром кадмію або нікелю.

Залежно від призначення, наперед приготовані зерна твердого компоненту потрібного розміру і форми або упаковуються в сталеву трубчасту оболонку з різним коефіцієнтом заповнення (наприклад, Hayetellite 38 і Hayetellite 60), або готуються у вигляді порошку, що містить, наприклад, 60% карбідів вольфраму і 40% стелліта Nb. Чим крупніше зерно карбіду і менше частка об'єму, зайнята зв'язкою, тим вище зносостійкість псевдосплавів.

Важливе значення має форма і структура твердих зерен. Використання сферичних зерен, одержаних методом порошкової металургії і методом відцентрового розпилювання збільшило, довговічність наплавлених деталей за рахунок досконалішої мікроструктури твердого компоненту і пов'язаними із структурою механічними властивостями зерен.

Замість литих зерен карбідів вольфраму, можливо, використовувати роздроблені спечені сплави, що містять невелику кількість кобальту.

Технологія і техніка наплавлення композиційних сплавів передбачає розплавлення поверхні основного металу і подачу у ванну частинок зносостійкої фази, що утворилася, із забезпеченням їх мінімального розчинення.

Різновидами цього процесу є засипка зносостійких частинок в хвіст ванни при плазмовому наплавленні, і просочення зерен карбіду вольфраму легкоплавкими сплавами типа ХН80СРЗ або Г20Н20Д60 з використанням

пічного нагріву [8].

На підставі проведеного аналізу, враховуючи необхідність роботи валів центрифуг в умовах знакозмінних навантажень в якості основного матеріалу для наплавлення під шаром флюсу приймаємо середньовуглецевий матеріал дроту, легований хромом, марганцем, кремнієм типу Нп 30ХГСА. Для покращення зносостійких властивостей наплавлюємого матеріалу при нанесенні покриття додатково у флюс будемо вводити шлак, виконуючи таким чином мікролегування.

1.4 Висновки та задачі дослідження:

На підставі дослідження умов роботи валів центрифуг, зміни їх якісних характеристик в процесі експлуатації і після відновлення, а також на підставі огляду літературних джерел можна зробити наступні висновки:

1. Проведено оцінку сучасних методів відновлення деталей, що найшли своє застосування при відновленні деталей сільськогосподарської техніки. Визначено, що одним з найбільш поширених методів, що гарантує високу міцність зчеплення нанесеного покриття з основою є метод наплавлення під шаром флюсу.

2. Проаналізовано матеріали для наплавлення деталей в залежності від типу металу. Визначено їх структурні особливості та відмінності технологічного процесу нанесення, що гарантує високу якість наплавленого металу.

3. Запропоновано для відновлення валів центрифуг наплавленням під шаром флюсу є використання дроту типу 30ХГСА з плавним флюсом АН348.

Виходячи з вищевикладеного, кваліфікаційна робота передбачає вирішення практичної проблеми галузевого машинобудування, а саме підвищення експлуатаційних властивостей валів центрифуг шляхом нанесення покриття з керуванням властивостей додатковим мікролегуванням.

Відповідно до поставленої мети в роботі необхідно вирішити наступні задачі:

- розглянути основні способи легування наплавленого металу, проаналізувати процеси, що при цьому відбуваються;
- визначити найбільш раціональні співвідношення мікро легуюча добавка – флюс для підвищення твердості покриття;
- розробити технологічну схему мікролегування.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДОЛОГІЯ, МАТЕРІАЛ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Методологія досліджень

Основні оцінюючі критерії, що дозволили прогнозувати і забезпечити підвищення експлуатаційних властивостей покриття, розробляли на основі аналізу його міцності зчеплення з основою, відносної зносостійкості, вивчення кінетики і механізму формування шару, що наплавляється.

Для отримання відомостей про можливість застосування даного покриття для відновлення валів центрифуг, використовували апріорні дані і результати власних експериментальних досліджень.

Методом розрахунку на міцність валу як абсолютно жорсткої розрізної балки одержана модель, що зв'язує межу адгезійної міцності покриття з нормальними і дотичними напругами змінного циклу валу, що дозволило спрогнозувати стійкість рекомендованого матеріалу покриття, а також відновленої деталі в цілому при експлуатації.

Пошук найдостовірніших і оптимальних оцінних критеріїв властивостей, що забезпечують необхідні характеристики найбільш навантажених і дорогих деталей центрифуг, управління їх якістю, привів до розгляду відомих і нових залежностей, що зв'язують повноту протікання дифузійних процесів із завершеною реакцій топохімічної взаємодії, і, як наслідок, з міцністю зчеплення наплавленого шару з основою. На базі аналізу умов експлуатації деталей і що пред'являються до них вимогам, запропоновані спеціальні методи випробувань наплавленого шару.

Методологія досліджень і послідовність проведення експериментів, теоретичних оцінок для вирішення поставлених задач і досягнення мети роботи приведена на рис. 2.1.



Рисунок - 2.1 Методологія досліджень

2.2. Матеріал досліджень

Для досліджень якісної технології відновлення найбільш навантажених деталей методом наплавлення під шаром флюсу із застосуванням рекомендованого матеріалу покриття були вибрані вали центрифуг.

Хімічний склад досліджуваних матеріалів валів, а також покриття приведений в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Хімічний склад матеріалу валів центрифуг і матеріалу покриття для відновлення

Матеріал	Склад хімічних елементів, % мас.					
	<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Mg</i>
Сталь 45 ¹	0,45-0,50	0,17-0,37	0,5-0,8	до 0,04	До 0,04	-
Покриття для відновлення ^{2,3}	0,28-0,34	1,1-1,25	0,9-1,2	до 0,025	До 0,025	-

Примітка: 1. Додатково включає в себе до 0,4% *Al* та залишки *Ti* (до 0,15);
2. Містить до 0,28% *Cr*. 3. Флюс АН-348-А стандартного хімічного складу

Таблиця 2.2 - Хімічний склад % шлаку

№ проби	Si	Al	Fe	Mg	Cu	Mn	Cr	Ti	V	P
1	57	14,2	19,3	2,0	0,6	0,45	0,12	1,5	0,12	0,02
2	62	12,7	20,0	1,9	1,0	0,6	0,15	1,2	0,17	0,03

Основні і супутні матеріали, вживані при наплавленні під шаром флюсу дріт: Нп-30, Нп-40, Нп-80, Нп-50Г, Нп-10ГЗ, Нп-30Х5, Нп-30ХГСА, Нп-2Х14, Нп-3Х13, Св-08, Св-08А, Св-08ГА, Св-08ГС та ін.

При експериментальному нанесенні покриттів використовували тільки стандартний флюс АН-348А, а також цей флюс з добавками 5; 10; 15 і 20% шлаку. Покриття наносили на спеціально обладнаній установці, що включає токарний верстат і комплект устаткування для автоматичного нанесення покриттів на циліндрову заготовку із сталі 45 діаметром 90 мм дротом Нп-30ХГСА. Потім із заготовок, з різною часткою присадок вирізали зразки для дослідження твердості і хімічного складу.

Таблиця 2.3 - Режими наплавлення шийок валів центрифуг під шаром флюсу

Діаметр деталі, що наплавляється, мм	Діаметр електродного дроту, мм	Сила струму, А	Напруга дуги, В	Швидкість подачі електродного дроту, м/ч	Швидкість наплавлення, м/ч	Виліт електроду, мм	Зміщення електроду із zenіту, мм	Крок наплавлення, мм/об
80-100	2	170-200	26-29	120-150	20-24	15-25	6-7	3,5-4,5

При проведенні експлуатаційних випробувань аналізували зміну структури, мікротвердості, величини зносу і міцності зчеплення.

2.3 Магнітний контроль властивостей

Спосіб структуроскопії феромагнітних матеріалів за коерцитивною силою, полягає в тому, що контрольований виріб піддають взаємодії з електроіндуктивним перетворювачем магнітної проникності в електричні сигнали. Це дає можливість визначати стан металу по всій довжині його “життя” і по розподілу H_c судити про зміну властивостей в структурі матеріалу.

Метод діагностики, заснований на вимірюванні коерцитивної сили H_c , і дозволяє виконати інтегральну оцінку стану ділянки металу з обліком до фактичних умов експлуатації.

Зафіксовану коерцитивну силу H_c можливо успішно використовувати для якісного опису закономірностей зміни магнітних властивостей при структурно фазових перетвореннях у сталях.

Основою оцінки напружено-деформованого (втомного) стану металу різних деталей є вимір магнітної характеристики металу – коерцитивної сили

(H_c). При цьому приладова реалізація коерцитиметра (рис. 2.1) проста й недорога. Така оцінка стану металу дає відчутний ефект. З меншим ризиком продовжується термін служби деталей та оцінюється ефективність термічної обробки та нанесення захисних покриттів. Вчасно виводиться з експлуатації механізми з неприпустимим ступенем надійності й цим попереджаються аварійні ситуації.



Рисунок 2.1 - Зовнішній вигляд коерцитиметрів: а – портативний імпульсний КІМ–2М; б – напівавтоматичний КРМ–Ц; в – магнітний структуроскоп КРМ–Ц–К2М

Коерцитиметричні методи контролю завдяки високій чутливості до структурних змін і фазових перетворень металу, достатній простоті, значній точності, слабкій залежності від геометричних розмірів і можливості проведення вимірів у локальних ділянках контрольованих деталей одержали найбільш широке поширення із усіх магнітних методів неруйнівного контролю.

РОЗДІЛ 3. ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ДЕТАЛЕЙ

Вироби з вуглецевих сталей в термічно поліпшеному стані є найбільш поширеними в сільськогосподарському машинобудуванні. Зважаючи на свою відносно низьку собівартість і забезпечення достатнього рівня механічних властивостей широке застосування отримала сталь 45, з якої виготовляють різні вали центрифуг. Незважаючи на велику кількість публікацій, присвячених застосуванню магнітного контролю для цієї сталі, ряд питань маловивчених. Це стосується, перш за все до оцінки деталей з поверхневим зміцненням, що перебували в експлуатації. Тому необхідним є проведення комплексних досліджень.

3.1 Прогнозування стану базової деталі за коерцитивною силою

Згідно технічних умов основним критерієм якості валів є твердість, виміряна на поверхні, що не дозволяє об'єктивно оцінити властивості серцевини – яка відповідатиме за надійну експлуатацію виробів після нанесення покриття. Виконали дослідження матеріалу серцевини хвостовика 41 валу, що надійшли в ремонт і визнані неремонтопридатними. Хімічний склад досліджених валів відповідав марочному (табл. 3.1).

На підставі отриманих експериментально даних встановили залежність між твердістю і коерцитивною силою валів (рис. 3.1):

$$HV = 19,5 + 33,5 H_c \quad (3.1)$$

З деталей, твердість яких перебуває в межах технічних (241–285 HV), 64% мають показання на верхній межі, а 31% – відхилення, пов'язані з обробкою.

Основними показниками якості матеріалу валів, що впливають на експлуатаційну стійкість, є: сформована структура, поверхнева твердість, σ_b , $\sigma_{0,2}$, ψ , δ_5 , KCU. На рівень магнітного параметру, що вимірюється безпосередньо на деталі після експлуатації, впливають фактори, що обумовлені зміною структури, фазового складу матеріалу при виготовленні, подальшої термічної обробки та експлуатації.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад, твердість і коерцитивна сила серцевини валів центрифуг, що досліджувались

Умовний №	Вміст елементів, %				Твердість, НВ	H _c , А/см	Мікроструктура
	С	Mn	Cr	Si			
1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,48	0,58	0,14	0,25	269	7,9	Сорбіт
2	0,42	0,62	0,13	0,11	207	6,0	Сорбіт й сітка фериту
3	0,48	0,63	0,19	0,25	321	8,2	Сорбіт
4	0,49	0,66	0,19	0,26	341	9,1	Сорбіт
5	0,50	0,68	0,14	0,24	331	8,1	Сорбіт
6	0,45	0,60	0,10	0,25	255	6,8	З поверхні сорбіт та сітка фериту, в серцевині перліт й сітка фериту
7	0,47	0,65	0,12	0,28	269	7,7	Сорбіт й включення фериту
8	0,44	0,67	0,10	0,21	241	7,0	З поверхні сорбіт, глибше сорбіт й сітка фериту
9	0,43	0,61	0,18	0,23	255	6,7	З поверхні сорбіт, глибше сорбіт й сітка фериту
10	0,42	0,75	0,18	0,31	269	7,9	З поверхні сорбіт, глибше сорбіт й сітка фериту, місцями сорбітоподібний перліт і ферит у вигляді сітки та окремих включень
11	0,45	0,64	0,23	0,31	269	7,5	З поверхні сорбіт, глибше сорбіт й сітка фериту, місцями сорбітоподібний перліт й ферит у вигляді сітки та окремих включень
12	0,43	0,70	0,14	0,32	255	7,0	Сорбіт, в серцевині сорбіт й сітка фериту
13	0,45	0,74	0,17	0,21	241	6,9	Сорбіт, сорбітоподібний перліт и ферит у вигляді сітки та окремих включень, в серцевині – голчасте розташування сорбітоподібного перліту та тонка розірвана сітка фериту
14	0,44	0,68	0,15	0,27	255	7,1	Сорбіт, глибше сорбіт й розірвана сітка фериту
15	0,48	0,70	0,19	0,28	255	6,8	Сорбіт й сітка фериту
16	0,49	0,74	0,19	0,25	235	6,2	Сорбіт, сорбітоподібний перліт й сітка фериту
17	0,46	0,79	0,14	0,29	269	7,5	Сорбіт, пластинчастий сорбіт й сітка фериту

1	2	3	4	5	6	7	8
18	0,47	0,70	0,16	0,29	269	7,3	Сорбіт, пластинчастий сорбіт й сітка фериту
19	0,45	0,71	0,12	0,28	269	7,9	Сорбіт, пластинчастий сорбіт й сітка фериту
20	0,45	0,70	0,18	0,29	269	7,4	Сорбіт, пластинчастий сорбіт й сітка фериту
21	0,46	0,70	0,11	0,29	269	7,7	Сорбіт, пластинчастий сорбіт й сітка фериту
22	0,45	0,70	0,13	0,29	269	7,4	Сорбіт, пластинчастий сорбіт й сітка фериту
23	0,45	0,68	0,17	0,28	197	5,1	Сорбітоподібний перліт й сітка фериту
24	0,42	0,71	0,14	0,30	255	6,8	Сорбіт, глибше сорбіт й включення фериту, у серцевині переходять у сітку
25	0,42	0,75	0,12	0,26	285	8,1	Сорбіт, глибше сорбіт й включення фериту, у серцевині переходять у сітку
26	0,45	0,65	0,15	0,25	302	7,9	Сорбіт
27	0,45	0,70	0,13	0,18	269	7,2	Сорбіт
28	0,44	0,58	0,08	0,16	269	7,2	Сорбіт
29	0,42	0,65	0,19	0,24	255	6,9	Сорбіт й включення фериту
30	0,45	0,53	0,09	0,33	269	7,8	Сорбіт
31	0,43	0,77	0,15	0,20	241	6,3	Сорбіт
32	0,45	0,77	0,09	0,20	241	7,0	Сорбіт
33	0,48	0,65	0,16	0,31	255	6,9	З поверхні сорбіт та сітка фериту, в серцевині перліт й включення фериту
34	0,50	0,50	0,10	0,24	262	8,1	Сорбіт
35	0,45	0,80	0,18	0,22	255	7,0	З поверхні сорбіт, глибше сорбіт й ферит, у серцевині перехід у сітку
36	0,46	0,80	0,17	0,23	269	7,5	Сорбіт
37	0,48	0,80	0,17	0,23	241	7,0	Сорбіт
38	0,49	0,51	0,15	0,22	269	7,8	Сорбіт
39	0,49	0,60	0,20	0,25	241	6,9	Сорбіт
40	0,46	0,79	0,12	0,20	269	7,4	Сорбіт
41	0,43	0,70	0,23	0,24	269	7,1	Сорбіт

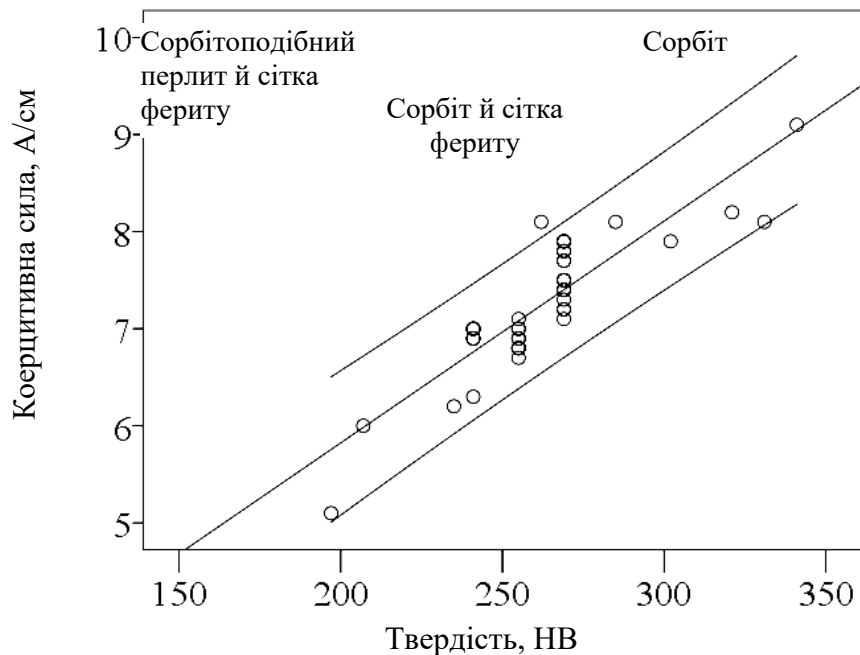


Рисунок 3.1 - Взаємозв'язок коерцитивної сили та твердості валів після експлуатації (довірчий інтервал становить 0,95)

Також важливим є визначення, що отримані після термічної обробки, так і можливі дефекти, що сформувались при виготовленні самої деталі. Важливим є розрізнити ступінь впливу таких факторів на H_c . Тому для оцінки причин відхилень і прогнозування структурного стану виконали комплексну оцінку основних параметрів якості виробів виготовлених з прокату різного діаметру після термічної обробки – поліпшення. Для оцінки впливу дефектів на магнітні властивості в стані поставки досліджували прокат сталі 45.

3.2 Результати фізико-хімічних досліджень шлаків

Інтерпретація мінерально-фазового складу вироблялася на підставі аналізу результатів фізико-хімічних досліджень, з використанням незалежних методів рентгенівської дифрактометрії і оптичної мікроскопії. Рентгенівські дослідження

виконані на дифрактометрі ДРОН-3М з мідним антикатодом при напрузі 40 kV і силі струму 19 тА. Оптичні дослідження проведені на прозорих шліфах шлаків з використанням вдосконаленого великого поляризаційного мікроскопа МІМ-8 при збільшеннях $\times 17,5-250$.

Дослідженням піддані дві проби шлаків, що розрізняються візуально по густині і розміру пор-проба Ф-1 та Ф-2.

У пробі Ф-1 із загальною пористістю від 32 до 50% (для різних ділянок) присутні пори двох розмірних фракцій 1200-3000 мкм (ділянками, нерівномірно) і від 30 до 570 мкм. У першій розмірній фракції переважають пори розміром 1200-1450 мкм, в другій 190-380 мкм.

Проба Ф-2 характеризується у край нерівномірною пористістю -внутрішніми ділянками практично - щільними, однорідними з пористістю близько 0,5-1% і ділянками поверхні, де пористість досягає 27-42%, представлених порами від 15 мкм до 850 мкм, переважають пори розмірами 25-190 мкм і 350-600 мкм.

Пористі різниці шлаку значно переважають.

Проба Ф-1. Характеризується наявністю типово шлакових мінералів, які переважають, таких як монтічелліт - $\text{Ca Mg} [\text{SiO}_4]$ з $d^\alpha = 0,265; 0,181; 0,159; 0,286$ нм; форстеріт - $\text{Mg}_2 \text{Si O}_4$ з $d^\alpha = 0,244; 0,174; 0,229; 0,148; 0,388$ нм; глаукохроїт - Ca Mn SiO_4 ; гелаксит MnAl_2O_4 , з $d^\alpha = 0,249; 0,292; 0,146$ нм; тефроїт - Mn_2SiO_4 з $d^\alpha = 0,181; 0,286; 0,255; 0,394; 0,362; 0,260$ нм і мінералів мелілітового ряду, що складаються з окерманіта - $\text{Ca}_2 \text{Mg Si}_2 \text{O}_7$, $d^\alpha = 0,284; 0,174; 0,304$ нм і геленіта - $\text{Ca}_2 \text{Al Si Al O}_7$ (перший з яких домінує). Окрім цього, істотна наявність гидратних форм силікатів у вигляді антигоріта. $\text{Mg}_3 (\text{OH})_4 \text{Si}_2 \text{O}_5$ з $d^\alpha = 0,724; 0,361; 0,259; 0,213$ нм і гироліта - $\text{Ca}_4\text{Si}_6\text{O}_{15} (\text{OH})_2 3\text{H}_2\text{O}$ з $d^\alpha = 0,336; 0,424; 0,285; 0,188; 0,960$ нм, що утворилися в результаті технологічно передбаченого поливу шлакового розплаву водою з метою розтріскування і поризації шлаку, що виключає його дріблення при використуванні. У таких же умовах не виключене освітлення

манганіта - $\text{MnO}[\text{ВІН}]$ з $d^\alpha = 0,270; 0,166; 0,380; 0,234$ нм. Можливе освітлення перовськіта - CaTiO_3 з $d^\alpha = 0,269; 0,190; 0,155$ нм, а також наголошується присутність $\text{Ca Ti}_2\text{O}_7$ з $d^\alpha = 0,196; 0,425; 0,962$ нм.

Не виключене освітлення в шлаках оксидів кремнію у вигляді різних кристаллографічно оформлених фаз крестобаліта з $d^\alpha = 0,404; 0,249; 0,285$ нм і трідіміта з $d^\alpha = 0,431; 0,406; 0,380$ нм.

Проба Ф-2. Також переважають шлакові мінеральні фази, відмічені в пробі Ф-1, окрім форстеріта і $\text{Ca}_3\text{Ti}_2\text{O}_7$ помітно зменшується відносна кількість перовськіта, а трідіміт практично відсутній.

3.3 Флюс для нанесення покриття

В даний час є актуальним відновлення деталей, схильних до підвищеного зносу, шляхом нанесення покриттів з використанням наплавлювальних матеріалів, що наносяться під шаром флюсів. При цьому використовують матеріали, що забезпечують не тільки високі фізико-механічні властивості покриттів, але і що мають невисоку вартість, що є економічно доцільним при відновленні деталей машин в цілому.

Найближчим до пропонованого, є флюс для нанесення покриттів, включаючий основу, що містить SiO_2 , MnO , CaO , MgO , AlO_3 , CaF_2 , Fe_2O_3 , відомий в машинобудівній промисловості під маркою АН-348А. Окрім основних компонентів флюс містить невелику кількість домішки у вигляді сірки і фосфору (не більш 0,12%).

При цьому вміст компонентів в основі флюсу наступний, мас. %:

MnO 31,00 - 38,00

CaO , 1,00 - 12,00

MgO , 1,00 - 7,00

Al_2O_3 , 1,00 - 6,00

CaF_2 , 3,00 - 6,00

Fe_2O_3 0,50 - 2,00

SiO_2 , інше

Цей флюс одержав переважне використання при механізованих способах виконання зварювальних і наплавлювальних робіт, як в загальному машинобудуванні, так і при ремонті машин. Флюс АН-348А застосовується при роботі з деталями, виготовленими з вуглецевих або низьковуглецевих сталей з використанням низьковуглецевого або низьколегованого зварювального дроту, наприклад Нп-30ХГСА.

Крім того, флюс АН-348А, будучи відносно недорогим, забезпечує хорошу якість металу зварних швів або покриттів, що наносяться, і їх фізико-механічних характеристик, а також задовільну віддільність кірки.

Недоліком цього флюсу є, що покриття, виконані з ним, не відрізняються підвищеною зносостійкістю, що і викликало необхідність при відновленні деталей схильних до зносу використовувати дорожчі наплавлювальні матеріали і спеціальні флюси, що в кінцевому підсумку приводить до значного дорожчання відновлених деталей.

У корисній моделі поставлена задача створення такого флюсу, в якому шляхом введення до складу основи флюсу зміцнюючої добавки, забезпечується підвищена зносостійкість і довговічність відновлюваних деталей машин, хороша їх оброблюваність, а також і зниження матеріальних витрат в процесі відновлення.

Поставлена задача розв'язується тим, що у відомому флюсі для нанесення покриття, включаючому в основу, що містить SiO_2 , MnO , CaO , MgO , Al_2O_3 , CaF_2 , Fe_2O_3 , згідно корисної моделі, додатково вводять зміцнюючу добавку, при наступному співвідношенні компонентів, мас. %:

Зміцнююча добавка 5-10

Основа інше.

Зміст компонентів в зміцнюючі добавки складає, мас. %:

V 0,12 - 0,17

Ti 0,5 - 1,5

Cu 0.6 - 1.0

Mg 1,8 - 2,0

Al 12 - 14

Si інше

Крім того, зміст компонентів в основі складає, мас. %:

MnO 31,00 - 38,00

CaO 1,00 - 12,00

MgO 1,00 - 7,00

Al₂O₃ 1,00 - 6,00

CaF₂ 3,00 - 6,00

Fe₂O₃ 0,50 - 2,00

SiO₂ інше

Крім того, як зміцнююча добавка використовують шлакові відходи енергетичних виробництв.

Введення до складу флюсу зміцнюючої добавки забезпечує не тільки мікролегування покриття і його істотне зміцнення але і покращує його оброблюваність. Причому вхідні до складу зміцнюючої добавки компоненти, такі як Si, Ti, V, Al, Mg, Cu сприяють утворенню дисперсних карбідів і створенню дрібнозернистої структури, що і забезпечить підвищення твердості а, отже, зносостійкості і міцності покриття, що наноситься. При цьому Si, Ti, V, Al, Mg забезпечують підвищення фізико-механічних характеристик покриттів, а Cu забезпечує поліпшення їх оброблюваної. Кількість компонентів у складі зміцнюючої добавки є достатньою для забезпечення істотного підвищення стійких властивостей поверхневого шару покриття, що наноситься.

Слід зазначити, що зміцнююча добавка містить невелику кількість сірки і фосфору, які є шкідливими домішками. Проте їх зміст незначний і не перевищує допустиме по ГОСТу зміст цих домішок у складі флюсу. Крім того, при використуванні як зміцнюючої добавки шлакових відходів енергетичного виробництва, в склад можуть входити Fe і Mn, в кількостях істотно не змінюючих концентрацію компонентів в покритті і не впливаючих на міцнісні характеристики поверхневого шару.

Експериментальним шляхом встановлено, що введення до складу флюсу зміцнюючої добавки в кількості 5 - 10% є оптимальним. Така кількість зміцнюючої добавки у складі флюсу забезпечує найбільшу поверхневу твердість покриття, зносостійкість відновлених поверхонь і працездатність таких деталей. При цьому поліпшується оброблюваність покриттів, що наносяться.

Введення зміцнюючої добавки в кількості менше 5% не робить вплив на твердість покриття. При введенні зміцнюючої добавки в кількості більше 10% зростає кількість і розміри скупчень неметалічних включень, які знижують контактну втомну міцність відновлених поверхонь.

Крім того, використання як зміцнюючої добавки відходів виробництва, наприклад, шлакових відходів енергетичних виробництв, значно знижує матеріальні витрати в процесі відновленні деталей машин і дозволяє утилізувати відходи енергетичних виробництв.

Таким чином, запропонований флюс, додатково введений в основній, в кількості 5 - 10%, для нанесення покриттів дозволяє забезпечити підвищену зносостійкість і довговічність відновлюваних деталей машин, хорошу їх оброблюваність, а також і понизити матеріальні витрати в процесі відновлення за рахунок використання дешевшого (низьколегованного) дроту.

Порядок приготування суміші наступний.

Беруть 90 - 95 мас. % основи флюсу, що містить SiO_2 , MnO , CaO , MgO , Al_2O_3 , CaF_2 , Fe_2O_3 змішують з 5 - 10% підготовленої фракції (дроблення,

сепарація) шлакових відходів феросплавного заводу. Одержують флюс для нанесення покриттів.

Для експериментальної перевірки якості флюсу і оптимізації його складу, разом з початковим (серійний флюс АН-348Л), було виготовлено чотири досвідчені композиції флюсу з різною кількістю шлакових відходів мікролегуючої добавки (табл.3.8). Ці склади флюсу використовували при нанесенні покриттів при відновленні шийок валу. Результати досліджень мікротвердості покриттів на цих деталях, залежно від кількості мікролегуючої добавки, введеної в основний флюс, приведені в табл.3.2.

Таблиця 3.2 - Мікротвердість H_{50} покриттів залежно від частки добавки шлаку у флюс

№ дослідження	Мікротвердість покриттів H_{50} поверхневого шару				
	0% добавки	5% добавки	10% добавки	15% добавки	20% добавки
1	315	373	357	316	286
2	314	364	366	321	275
3	322	379	363	311	279
4	317	372	362	316	280

Приклад 1 - приведена мікротвердість поверхневого шару покриття при використуванні прототипу (флюс АН-348А).

Приклад 2 - мікротвердість покриття при флюсі містить 5% мікролегуючої добавки.

Приклад 3 - мікротвердість покриття при флюсі містить 10% мікролегуючої добавки.

Приклад 4 - мікротвердість покриття при флюсі містить 15% мікролегуючої добавки.

Приклад 5 - мікротвердість покриття при флюсі містить 20% мікролегуючої добавки.

Найбільша твердість в поверхневому шарі покриття, що наноситься, одержана при введенні мікролегуючої. Схема процесу приведена на рис.3.6 добавки до складу флюсу АН-348А в кількості 5 - 10%.

Введення мікролегуючої добавки понад 10% (приклад 4 і 5) значно знижує твердість покриттів.

Таким чином, запропонований, для нанесення покриття флюс, характеризується підвищеною концентрацією легуючих компонентів і забезпечує підвищення твердості і зносостійкості, а також ресурсу відновлюваних деталей машин (термін служби їх зростає в 1,2 рази). Використовування додаткових легуючих добавок в кількості 5 - 10% підвищує зносостійкість на 17 - 22%.

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

4.1 Визначення економічної ефективності.

При застосування шлакових відходів у флюс АН-348А з дротом Нп-30ХГСА для відновлення валів центрифуг.

Економічну ефективність від створення і упровадження нового технологічного процесу відновлення валів центрифуг замість існуючих розраховували по формулі:

$$\Xi = \left[(C_1 + E_n K_1) \cdot \frac{P_1 + E_n}{P_2 + E_n} - (C_2 + E_n \cdot K_2) \right] \cdot N \quad (4.1)$$

де C_1 і C_2 - собівартість відновлення валу

по існуючому і новому варіантах, грн.;

K_1 і K_2 - питомі капітальні вкладення по існуючому

і новому варіантам, грн.;

P_1 і P_2 - величини, зворотні термінам служби валу, відновленого по існуючому

і новому варіантах;

E_n - нормативний коефіцієнт економічної ефективності (0,15);

N - річний об'єм відновлюваних валів по новому варіанту.

Питомі капітальні вкладення визначали по наступній формулі:

$$Do = K_{ед.} + K_{об.} + K_{ин.прис.} + K_{пр.хоз} \quad (4.2)$$

де $K_{ед.}$ - питомі витрати на приміщення, грн.;

$K_{об.}$ - питомі ціни устаткування, грн.;

Кин.прис - питомі витрати на інструменти і пристосування, грн.;

Кпр.хоз - питомі витрати на виробничий і господарський інвентар, грн.

У загальному вигляді собівартість відновлення деталей визначали по формулі:

$$C_{в} = C_{из} + Z_{пл} + C_{об} + H_{ц} + H_{з} + C_{бр} + C_{м} \text{ грн.} \quad (4.3)$$

де $C_{из}$ і $C_{м}$ - вартості, відповідно, зношеної деталі і матеріалів, грн.;

$Z_{пл}$ - заробітна платня, грн.;

$C_{об}$ - витрати на зміст і експлуатацію устаткування, грн.;

$H_{ц}$ і $H_{з}$ - витрати, відповідно, цехові (загальноновиробничі) і загальнозаводські (загальногосподарські), грн.;

$C_{бр}$ - втрати від браку, грн.

У вартості матеріалів входять витрати на всі матеріали, які використовують для відновлення одного валу:

$$C_{м} = Q_i \cdot C_i \quad (4.4)$$

де Q_i - маса використаного матеріалу, кг;

C_i - ціна 1 кг матеріалу, грн.

Вартість зношеного валу - 30,50 грн.

Заробітну платню визначають по формулі:

$$Z_{пл.} = K_{ср.} \cdot T_{пр.} \quad (4.5)$$

де $K_{ср.}$ - годинна тарифна ставка прийнятого середнього розряду робітників, грн.;

$T_{пр.}$ - трудомісткість виконуваних робіт, чіл./год:

$K_{ср.} = 10$ грн.

Витрати на зміст устаткування і експлуатацію устаткування приймають 25% від питомої собівартості устаткування, тобто:

$$\text{Соб.} = 25\% \text{ Коб} \quad (4.6)$$

Цехові витрати визначають по формулі:

$$H_{ц} = \frac{З_{пл} \cdot П_1}{100} \quad (4.7)$$

де $П_1$ - відсоток цехових витрат.

Загальнозаводські витрати визначаються по формулі:

$$H_з = \frac{З_{пл} \cdot П_2}{100} \quad (4.8)$$

де $П_2$ - відсоток загальнозаводських витрат.

Втрати від браку визначаються по формулі:

$$C_{бр} = \frac{C_{об} \cdot П_3}{100} \quad (4.9)$$

де - $П_3$ - відсоток непридатних витрат.

На сьогоднішній день велика кількість валів центрифуг ремонтується традиційно шліфуванням в ремонтний розмір. Виходячи з цього ми вибираємо цей варіант як базовий (існуючий).

$П_1$, $П_2$ і $П_3$ приймаємо згідно даним підприємств: $П_1 = 200\%$, $П_2 = 45\%$, $П_3 = 1\%$.

Собівартість базового варіанту визначається по формулі (4.3):

$$C_1 = 24,5 + (10 \cdot 8) + 4,56 + 1,6 + 0,36 + 4,5 \cdot 10^{-4} + 170 = 181,06 \text{ грн}$$

Собівартість нового варіанту визначається по формулі

$$C_2 = 24,5 + (10 \cdot 9,5) + 4,45 + 1,9 + 0,42 + (4,4 \cdot 10^{-4}) + (78,5 \cdot 2) = 283,2 \text{ грн}$$

Таблиця 4.1

Початкові дані для розрахунку економічного ефекту від упровадження нового варіанту відновлення

Показник	Позначення	Базовий варіант	Новий варіант
Питомі капітальні вкладення по існуючому і новому варіантах, грн/шт	K1 і K2	5,36	6,12
Величини, зворотні термінам служби валу, відновленого по існуючому і новому варіантах	P1 і P2	0,5	0,25
Нормативний коефіцієнт економічної ефективності	Ен	0,15	0,15
Річний об'єм валів по новому варіанту, шт	N	-	300
Собівартість відновлення валу існуючому і новому варіанту	C ₁ і C ₂	181,6	283,2

Ефективність від упровадження нового варіанту для відновлення валу, розрахованого по формулі (4.1) складе:

$$\Theta = 181,06 + 0,15 \cdot 5,36 \frac{0,5 + 0,15}{0,25 + 0,15} - 283,2 + 0,15 \cdot 6,12 = 11,4 \text{ грн.}$$

Тоді річний економічний ефект при річному випуску 500 шт. валів буде рівний:

$$E_{\Gamma} = \Theta \times N = 110,4 \times 300 = 34200 \text{ грн}$$

Розрахунковий коефіцієнт ефективності капітальних вкладень визначається з рівняння:

$$E_p = \frac{\Theta}{\Delta K_2} \geq 0,15 \quad (4.10)$$

де Θ - ефективність капітальних вкладень;

ΔK - додаткові капітальні витрати по новому варіанту.

Додатковими капітальними витратами .по новому варіанту є витрати за покупку додаткового устаткування, тобто

$$\Delta K = 1824 \text{ грн}$$

Тоді коефіцієнт ефективності капітальних вкладень буде:

$$E_p = 34200/1824 = 1,875$$

тобто $E_p > 0,15$.

Це значить новий варіант відновлення валів центрифуг, більш ефективний і вигідний, ніж базовий варіант.

Використовування нового наплавлювального матеріалу дроту Нп-30ХГСА для відновлення валу центрифуги не вимагає складного устаткування і термічної обробки.

На підставі виконаних досліджень встановлено, що додавання шлаку насиченого легуючими складовими у флюс АН-348А дротом Нп-30ХГСА підвищує твердість наплавленого покриття на 25% .

Розрахункова економічна ефективність від впровадження нового варіанту для відновлення валу центрифуги складає 110,4 грн. на кожен вал.

ВИСНОВКИ:

1. Виконали оцінку найбільш розповсюджених методів нанесення зносостійких покриттів, які дозволяють формувати градієнт властивостей по глибині наплавлення та виконати мікролегування та модифікування матеріалу.

2. Виконано оцінку основних матеріалів та технологій нанесення зносостійких покриттів та обран найбільш раціональне співвідношення вартість/якість нанесеного металу - відновлення валів наплавленням під шаром флюсу є використання дроту типу 30ХГСА з плавним флюсом АН348.

Обґрунтовано кількість шлакової домішки, що додається до флюсу АН348, яка забезпечує максимальний рівень механічних властивостей на рівні 5-7%. Виконано дослідження щодо кількості шлаку, що вводиться у склад флюсу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання [Текст] : практикум для студентів спец. 131 "Прикладна механіка", 133 "Галузеве машинобудування", 134 "Авіаційна та ракетно-космічна техніка", 185 "Нафтогазова інженерія та технології", 274 "Автомобільний транспорт" / Литвиняк Я. М., Юрчишин І. І., Сліпчук А. М. ; Нац. ун-т "Львів. політехніка". - Львів : Левада, 2022. - 200 с.
2. Технологія машинобудування. Забезпечення ефективності процесів отримання вакуумно-дугових покриттів [Текст] : [монографія] / Ю. О. Сисоєв ; Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського "Харків. авіац. ін-т". - Харків : ХАІ, 2021. - 319 с.
3. Технологія машинобудування [Текст] : навч. посіб. / В. Б. Копей, З. М. Одосій, О. Р. Онисько ; Івано-Франків. нац. техн. ун-т нафти і газу, Каф. комп'ютериз. машинобуд. - Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2021. Ч. 1. - 2021. - 203 с.
4. Графічний інжиніринг [Текст] : навч. посіб. : для студентів ден., заоч. та дистанц. форм навчання освіт. ступеня "Бакалавр", які навчаються за спец. : 015 Професійна освіта, 131 Прикладна механіка, 133 Галузеве машинобудування, 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, 182 Технології легкої промисловості / Ю. А. Ковальов, Д. А. Макатьора ; Київ. нац. ун-т технологій та дизайну. - Київ : КНУТД, 2021. - 413 с.
5. Основи технології машинобудування [Текст] : навч. посіб. / Вінниц. нац. техн. ун-т. - Вінниця : ВНТУ, [202-] . Ч. 2 : Самостійна та індивідуальна робота студентів / [О. В. Дерібо та ін.]. - 2021. - 89 с.
6. Гідро- та пневмосистеми в автотракторобудуванні [Текст] : навч. посіб. для студентів спец. "Галузеве машинобудування" і "Автомобільний транспорт" / В. Б. Самородов [та ін.] ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". - Харків : Панов А. М. [вид.], 2020. - 523 с.

7. Технологічні основи сільськогосподарського машинобудування [Текст] : навч. посіб. / Веселовська Н. Р., Руткевич В. С., Шаргородський С. А. ; Вінниц. нац. аграр. ун-т. - Вінниця : ВНАУ, 2020. - 282 с.

8. Ультразвукова ударна обробка конструкцій і споруд транспортного машинобудування [Текст] : монографія / [Б. М. Мордюк та ін.] ; за ред. д-ра техн. наук, проф. Г. І. Прокопенка . - Суми : Університетська книга, 2020. - 309 с.

9. Особливості методів ремонту металоконструкцій зварюванням [Текст] : навч. посіб. для студентів напряму підгот. в галузі знань 13 - "Механічна інженерія", спец. 133 - "Галузеве машинобудування" і 131 - "Прикладна механіка" / П. А. Гавриш ; Донбас. держ. машинобуд. акад. - Краматорськ : ДДМА, 2020. - 119 с.

10. Технологічне забезпечення якості продукції машинобудування [Текст] : монографія / Є. А. Фролов [та ін.] ; Полтав. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка, Навч.-наук. ін-т інформ. технологій та механотроніки, Каф. технології машинобуд. - Полтава : Технол. центр, 2019. - 201 с.

11. Мехатроніка в галузевому машинобудуванні [Текст] : навч. посіб. для студентів ден., заоч. та дистанц. форм навчання за галуззю знань "Механічна інженерія" спец. 133 "Галузеве машинобудування" та 131 "Прикладна механіка" / Б. В. Орловський ; Київ. нац. ун-т технологій та дизайну. - Київ : КНУТД, 2018. - 415 с.

12. Технологія машинобудування. Основи отримання вакуумно-дугових покриттів [Текст] : підручник / А. О. Андреєв, В. М. Павленко, Ю. О. Сисоєв ; Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського "Харків. авіац. ін-т". - Харків : ХАІ, 2018. - 287 с.