

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерно-технологічний

Кафедра галузевого машинобудування

Пояснювальна записка

до *дипломної роботи* на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»
на тему: «Модернізація технології відновлення підшипникових спряжень
аграрної техніки»

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Технології і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
спеціальності 208 Агроінженерія
ступеня вищої освіти «*магістр*» групи 1
Рябенко Володимир Васильович
Керівник: Попов С. В.
Рецензент: Іванкова О. В.

Полтава – 2021 року

ВСТУП

В даний час в агропромисловому комплексі країни в зв'язку з необхідністю збільшення доходів підприємств особливу вагу мають технології, що підвищують довговічність складальних одиниць та деталей машин і агрегатів.

Відновлення зношених деталей істотно скорочує кількість технологічних операцій, значно зменшує витрату застосовуваних матеріалів, в результаті чого відбувається зниження собівартості відновлених деталей в порівнянні з новими.

У більшості випадків основною причиною виходу з ладу деталей і складальних одиниць сільськогосподарської техніки є знос сполучених поверхонь. Для забезпечення економічної ефективності при розробці ремонтної технології особливу увагу приділяють підвищенню зносостійкості відновлюваних деталей в порівнянні з новими.

Для відновлення деталей в останні роки широко застосовуються металеві порошки різних складів. Вони добре зарекомендували себе при газопорошковому, плазмовому, електродуговому наплавленні, при наплавленні стрічковими порошковими електродами і т.д. Крім технологій наплавлення металевих порошоків на зношені поверхні деталі існують технології відновлення зношених поверхонь деталей за допомогою спікання або напикання порошоків (електроконтактні процеси), термодифузія і інші технології.

У сільськогосподарській техніці завдяки високим антифрикційним властивостями, високої корозійної стійкості, здатності витримувати високі швидкісні режими і значні питомі навантаження велике поширення отримали деталі з кольорових металів і сплавів. Найчастіше в конструкціях машин знаходять застосування підшипники ковзання, виконані з бронзи у вигляді втулок.

Метою роботи є обґрунтування можливості нанесення металевих порошків і розробка технології відновлення внутрішніх поверхонь підшипників ковзання.

Об'єктом дослідження є бронзові втулки деталей машин сільськогосподарської техніки.

Предмет досліджень – це технологічний процес відновлення бронзових втулок.

Методика досліджень. Теоретичні дослідження проводилися з використанням законів фізики, опору матеріалів і теплотехніки. Лабораторні дослідження проводились з використанням спеціальних приладів. Обробка експериментальних даних проводилася методами математичної статистики за допомогою програми Microsoft Excel.

Теоретична і практична значущість роботи. Теоретично і експериментально обґрунтована можливість застосування об'ємного обтискання з подальшим електроконтактним напиканням сталевих порошків з метою відновлення працездатності бронзових втулок.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Аналіз характеру зношування деталей сільськогосподарської техніки

Під час експлуатації деталі даних машин піддаються різним видам зношування, таким як:

- гідроерозійне (газоерозійне) - ерозійне зношування металу, виникає під дією рідини (газу); даний вид зношування характерний для деталей систем охолодження і т.п;

- гідроабразивне (газоподібне) - зношування, що виникає під дією зважених твердих частинок, що містяться в рідині (газі) і переміщаються щодо поверхні деталі; даний вид зношування характерний для деталей водяних систем і гідроприводу;

- кавітаційне зношування - механічне зношування, що виникає при русі рідини відносно поверхні деталі, при якому утворювались пухирці повітря (газу) закриваються поблизу поверхні деталі, викликаючи місцеве високий питомий тиск, що приводить до відшарування мікрочастинок металу деталі; даний вид зношування характерний для зовнішніх поверхонь гільз циліндрів, лопатей водяних насосів і т.п;

- абразивне зношування - вид зношування, що відбувається під впливом твердих абразивних частинок, що знаходяться між поверхнями тертя сполучення складальної одиниці або при безпосередньому контакті поверхні деталі з абразивної середовищем, абразивні частинки якої викликають мікропластичні деформації і різання металу поверхневого шару деталі; даний вид зношування характерний для робочих органів сільськогосподарських, меліоративних і будівельних машин, для деталей ходової частини гусеничних машин і т.п;

- втомне зношування - механічне зношування в результаті втомного руйнування при повторному деформуванні мікрооб'ємів матеріалу поверхневого шару деталі; даний вид зношування характерний для поверхонь підшипників кочення, зубів шестерень і т. п;

- зношування при фретінгу - механічне зношування дотичних тіл при коливальному відносному мікропереміщенню; даний вид зношування характерний для шарико- і роликотітшипників, для поверхні деталей при ослабленні різьбових з'єднань, прилягання фланців блоку циліндрів, поверхні контакту вкладишів шийок колінчастого валу і т.п;

- зношування при заїданні - зношування в результаті захоплення, глибинного виривання матеріалу, перенесення його з однієї поверхні тертя на іншу і впливу виниклих нерівностей на сполучену поверхню; даний вид зношування характерний для шийки колінчастих і розподільних валів, поршнів і т. п;

- окислювальне зношування - корозійно-механічне зношування, при якому переважає хімічна реакція матеріалу з киснем або окисляє навколишнім середовищем; даний вид зношування характерний для шийки колінчастих валів, циліндрів двигунів, поршневих пальців і т.п;

- електроерозійне зношування - ерозійне зношування поверхні в результаті впливу розрядів при проходженні електричного струму; даний вид зношування характерний для електродів свічок, для клем електроприладів і т.п.

Згідно аналізу літературних джерел [2, 3, 4, 5] види зношування можна розділити на 3 групи (рис. 1.1): механічне; корозійно-механічне і зношування при дії електричного струму.

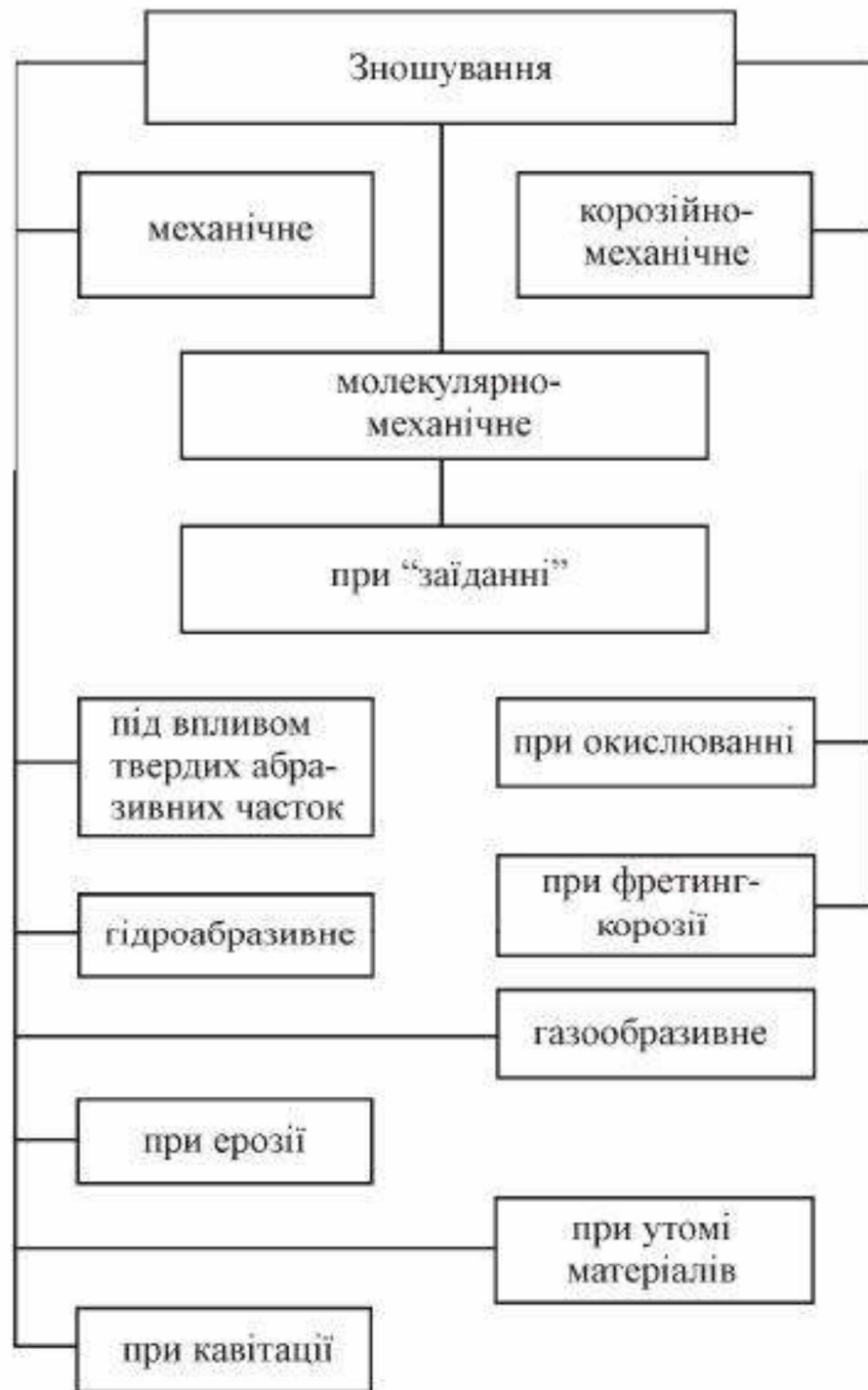


Рисунок 1.1 – Класифікація видів зношування

При сільськогосподарських роботах основну частку займають земляні роботи, при виконанні яких здійснюється тривалий контакт деталей робочих органів і ходової частини машини з ґрунтом, а також підвищується запиленість повітря. У зв'язку з цим найпоширенішим видом зношування основної маси деталей застосовуваних машин є абразивне зношування та його різновиди.

На швидкість абразивного зношування в значній мірі впливає процентний вміст різних абразивних частинок (кварц, кремій і ін.), їх твердість, а також щільність і фізико-механічні властивості матеріалів, з яких виготовлені робочі поверхні.

Бронзові підшипники ковзання знаходять широке застосування в транспортних і технологічних машинах сільськогосподарського призначення. В таблиці 1.1 представлені основні марки олов'янистих бронз, що застосовуються в даних машинах із зазначенням їх механічних характеристик.

Таблиця 1.1 - Марки бронз і їх механічні характеристики [5]

Марка	Спосіб лиття	Тимчасовий опір, МПа (кгс/см ²) не менше	Відносне видовження після розривання (%), не менше	Твердість по Брінеллю НВ, МПа (кгс/мм ²)	Область застосування
БрО5Ц5С5	К	176.2(18)	4	588(60)	Арматура, антифрикційні деталі, вкладиші підшипників
БрО5Ц5С5	П	147(15)	6	588(60)	Теж саме
БрО5С25	К	137.2(14)	6	588(60)	Біметалічні підшипники ковзання
БрО5С25	П	147(15)	5	441(45)	Теж саме
БрО6Ц6С3	К	176.2(18)	4	588(60)	Арматура, антифрикційні деталі, вкладиші підшипників
БрО6Ц6С3	П	147(15)	6	688(60)	Теж саме
БрО10Ц2	К	225,5 (23)	10	735 (75)	Теж саме
БрО10Ц2	П	215,5 (22)	10	637 (65)	Теж саме
БрО10С10	К	196(20)	6	735(78)	Підшипники ковзання, що працюють в умовах високих питомих тисків
БрО10С10	П	176.2(18)	7	637(65)	Теж саме

Примітка. Умовне позначення лиття: К - лиття в кокіль, П - лиття в піщані форми

Бронзові втулки підшипників ковзання в своєму конструктивному виконанні мають різні форми, але, як правило, це циліндричні втулки з гладкими зовнішніми і внутрішніми поверхнями.

При експлуатації бронзових підшипників вище перерахованого типу техніки найбільш часто зустрічається знос внутрішніх поверхонь, величина якого знаходиться в діапазоні від 0,1 до 0,8 мм (на діаметр), в залежності від якого підшипники ковзання підрозділяють на 2 категорії:

- 1 - підшипники, працездатність яких припиняється при зносі до 0,1 мм;
- 2 - підшипники, що втрачають працездатність при зносі до 0,5-0,8 мм.

Відповідно до технічних вимог зношені втулки вибраковуюються при виникненні таких дефектів:

- граничні лінійні знос по внутрішньої і зовнішньої поверхонь;
- деформація;
- зниження міцності посадки (натягу втулки в сполученні).

Після виявлення дефектів деталі замінюються новими або піддаються відновленню.

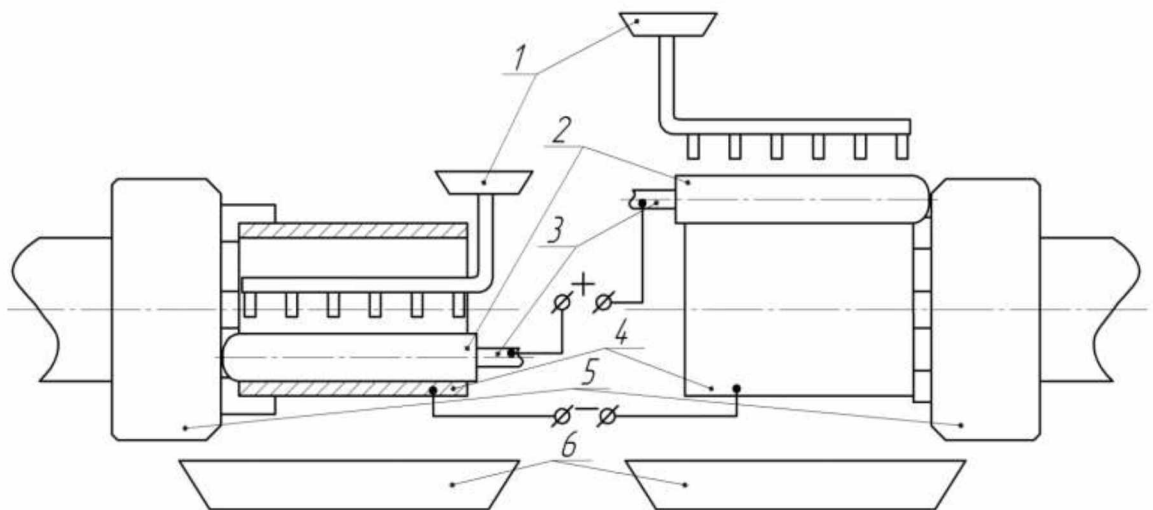
1.2. Аналіз способів відновлення підшипникових втулок

При виході з ладу складальної одиниці через зношування бронзової підшипникової втулки, як правило, для відновлення її працездатності проводять заміну втулки на нову з аналогічними характеристиками.

Однак не завжди представляється можливим отримати нову втулку в необхідні терміни і за оптимальною вартістю. У зв'язку з цим поряд із заміною втулки на нову поширені різні способи відновлення зношених поверхонь бронзових втулок.

Для відновлення зовнішніх і внутрішніх поверхонь бронзових втулок застосовують електролітичне натирання [8, 9]. Даний спосіб дозволяє відновлювати деталі із зносом до 0,2 мм.

Відновлення зношених бронзових втулок даними способом відбувається наступним чином (рис. 1.2): зношену деталь попередньо готують (знежирюють, проводять травлення, промивають), потім її поміщають в утримувач і приводять у контакт з анодом, в якості якого використовується графітовий стрижень, покритий абсорбуючим матеріалом. На абсорбуючий матеріал безперервно подається електроліт, в якому знаходяться іони. Після підключення постійного струму іони, що знаходяться в електроліті, переміщуються до катода (відновлювана деталь) і осідають на ньому.



а) відновлення внутрішнього діаметра

б) відновлення зовнішнього діаметра

1 - резервуар з електролітом; 2 - абсорбуючий матеріал; 3 – графітовий стрижень; 4 - зношена деталь; 5 - тримач; 6 - резервуар з відпрацьованим електролітом.

Рисунок 1.2 - Принципова схема електродифузійного натирання

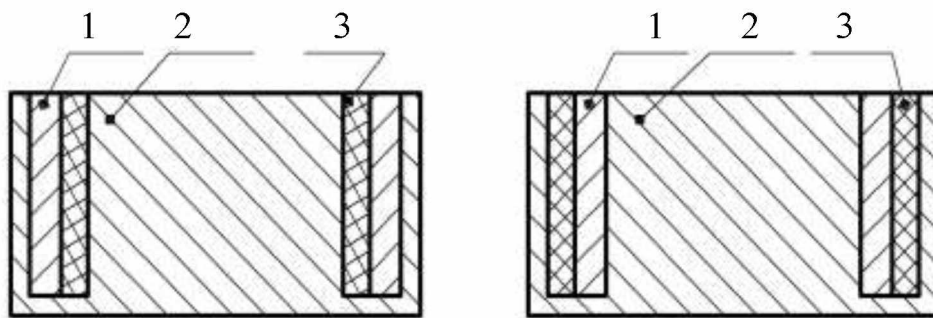
Даний спосіб має ряд переваг, до яких можна віднести:

- висока якість нанесеного покриття;
- відсутність термічного впливу на деталь.

Незважаючи на свої переваги даний метод має такі недоліки:

- через зношування абсорбуючого матеріалу відбувається зниження якості нанесеного покриття;
- відновленню підлягають тільки втулки з малими величинами зношування;
- складності при приготуванні і коригуванні електролітів;
- необхідність знешкодження електролітів після їх використання.

Останнім часом все більшого поширення набуває метод відновлення за допомогою полімерів [5, 11, 12]. При використанні даного методу попередньо підготовлену зношену втулку поміщають в оправлення з певним зазором, який заповнюють металополімерним матеріалом (рис. 1.3). Після висихання полімеру оправка знімається і втулку піддають механічній обробці.



а) відновлення внутрішнього діаметра

б) відновлення зовнішнього діаметра

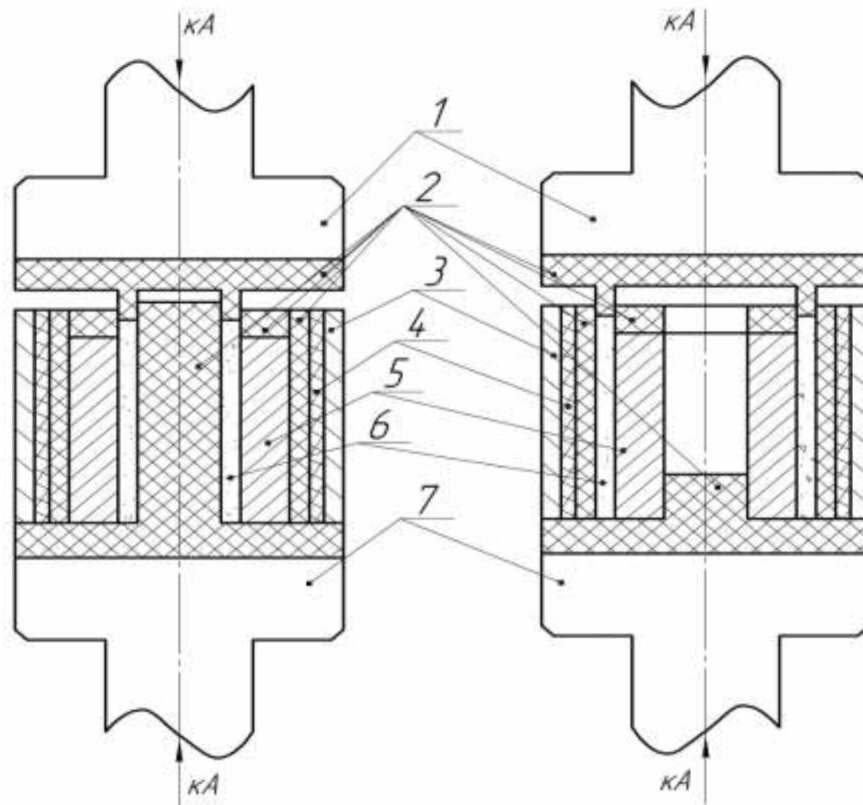
1 - відновлювана деталь; 2 - оправлення; 3 - металополімер

Рисунок 1.3 - Принципова схема відновлення за допомогою полімерів

При простоті використовуваного оснащення даний метод має високу собівартість, пов'язану з високою ціною металополімерного матеріалу і коротким періодом його використання.

В останні роки були проведені дослідження по відновленню бронзових втулок порошками з кольорових сплавів з використанням графітових компенсаторів під час проведення електроконтактного напикання (рис 1.4)

[13]. Даний спосіб дозволяє відновлювати знос втулки, який знаходиться в діапазоні 0,3-0,8мм.



а) відновлення внутрішнього діаметра

б) відновлення зовнішнього діаметра

1 - верхній електрод; 2 - графітові елементи; 3 - сталевий кожух; 4 - азбестова прокладка; 5 - відновлювана втулка; 6 - порошок; 7 - нижній електрод

Рисунок 1.4 - Відновлення поверхні бронзових втулок порошками з кольорових сплавів с використанням графітових компенсаторів

Напікання здійснюється наступним чином: втулка встановлюється на центруючу графітову вставку. Для більш рівномірного розподілу температури і плавного нагрівання деталі зовні на неї одягають графітове кільце, яке додатково екранують азбестом. У проміжок між графітом і втулкою засипається порошок, на який зверху встановлюють ущільнювач, виконаний з графіту. Після цього відновлювану втулку в графітовому корпусі

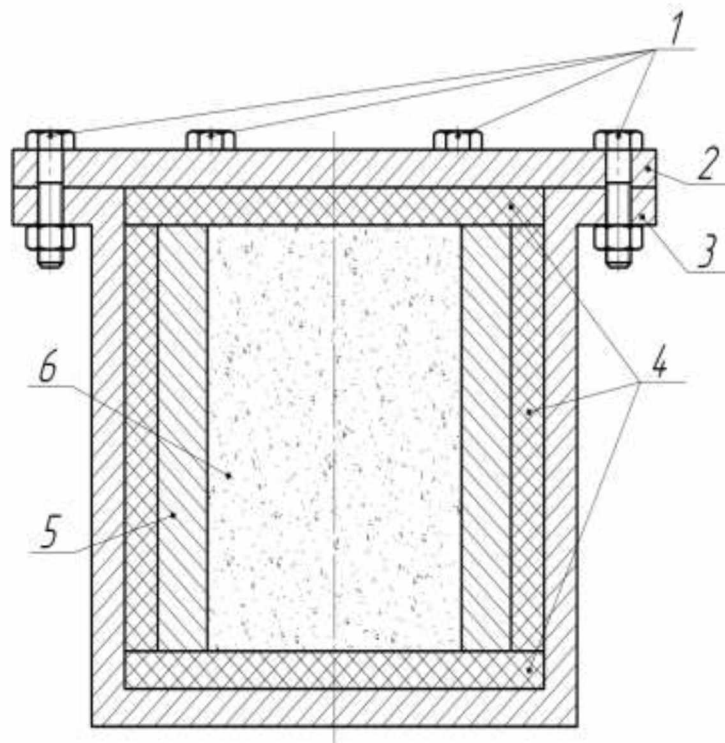
затискають в електродах машини точкового зварювання і пропускають електричний струм, під впливом якого відбувається спікання порошку.

До переваг даного способу відносяться: можливість відновлювати як зовнішні, так і внутрішні поверхні з будь-якими величинами зношування, а також невисока вартість відновлення зношених втулок.

До недоліків даного способу можна віднести можливість відновлення зношених деталей тільки однаковими за складом металевими порошками.

Для відновлення внутрішньої поверхні бронзової втулки з зносом до 0,25 мм може застосовуватися дифузійна металізація [14]. Даний хіміко-термічний метод полягає в процесі насичення зношеної поверхні деталі різними металами. Поверхня деталі можуть насичувати одночасно або послідовно декількома металами. Найбільш часто для дифузійної металізації застосовують алюміній, хром, кремній і бор. Залежно від середовища розрізняють твердофазний, рідиннофазний, газофазний і парофазний методи. Для відновлення бронзових втулок найбільшого поширення набув газофазний метод.

При газофазних методах насичення відновлюваної поверхні деталі здійснюється елементом, що входить до складу газу. Розрізняють два способи відновлення газофазним методом: контактний і неконтактний. При контактному методі дифундуючий елемент міститься в порошок, який засипається в герметичному контейнері разом з деталлю. Під час нагрівання порошок створює газове середовище. При неконтактному способі готове газове середовище подається до деталі. Найбільш ефективним способом газофазної металізації є контактний метод (рис. 1.5).



1 - болт; 2 - кришка; 3 - сталевий кожух; 4 - азбестова прокладка; 5 - відновлювана втулка; 6 - порошок

Рисунок 1.5 - Відновлення внутрішньої поверхні бронзових втулок газофазною металізацією

Процес металізації відбувається наступним чином: в контейнер, покритий всередині азбестом, поміщається втулка, потім засипається суміш, що складається з порошків дифундуючих елементів, активатора процесу газоутворення і порошку, що перешкоджає спікання металевих компонентів суміші. Після чого контейнер герметично закривається і витримується протягом 2-6 годин при температурі 600 - 900°C [14].

При використанні дифузійної металізації поліпшується жаростійкість, зносостійкість, корозійна стійкість і збільшується твердість відновлюваної втулки.

Основним недоліком даного методу є тривалість процесу відновлення зношених поверхонь втулок, що серйозно ускладнює його застосування.

Для відновлення бронзових підшипникових втулок з величиною зношування внутрішньої поверхні до 0,8 мм застосовується заливка рідким

металом, зокрема, відцентрове лиття [15]. Суть методу відцентрового лиття полягає в тому, що при обертанні втулки на відновлювану поверхню наносять розплавлену бронзу. Для розплавлення бронзи можуть застосовуватися печі, високочастотний струм і електродуговий нагрів. Найбільшого поширення набув спосіб відцентрового лиття із застосуванням електродугового нагрівання при відновленні внутрішніх поверхонь зношених бронзових втулок..

Перед початком відновлення відцентровим литтям із застосуванням електродугового нагрівання при відновленні внутрішніх зношених поверхонь бронзових втулок необхідно провести підготовчі дії: очистити бронзову втулку від забруднень, що знижують міцність зчеплення рідкого металу з відновлюваної поверхнею втулки; провести підготовку шихти.

Від 1,5 до 2% маси шихти являє собою флюс, в якості якого застосовують збезводнену буру, для чого її прожарюють при температурі до 800°C; після цього виконують подрібнення до порошкоподібного стану. Також до складу шихти входить бронза у вигляді стружки, порошку або гранул, відповідна марці відновлюваної втулки.

Після проведення підготовчого етапу втулку з попередньо запресованою шихтою поміщають в оправку, після чого оправку поміщають на установку і приводять в обертання. Потім всередину заготовки через отвори у фланцях заводять електроди, між ними запалюють електричну дугу, яка розплавляє шихту і підігріває поверхню відновлюваної втулки. Під дією відцентрової сили розплавлений метал шихти рівномірно розподіляється по відновлюваній поверхні втулки, після чого підігрів припиняється, а оправка продовжує обертатися до закінчення кристалізації металу. Потім оправку знімають і поміщають в пісок для подальшого охолодження.

До недоліків даного способу можна віднести:

- нерівномірність розподілу компонентів рідкої бронзи;
- високу трудомісткість підготовчого етапу;
- складне і дороге устаткування;

- низьку продуктивність даного процесу.

Найбільш поширеним способом через свою простоту є метод пластичної деформації [4, 8, 15]. Основними методами відновлення бронзових підшипникових втулок при пластичної деформації є осадка і обтискання, які можуть виконуватися як в холодному, так і в гарячому стані.

Осадку застосовують для зменшення внутрішнього та збільшення зовнішнього діаметра втулки за рахунок зменшення її довжини.

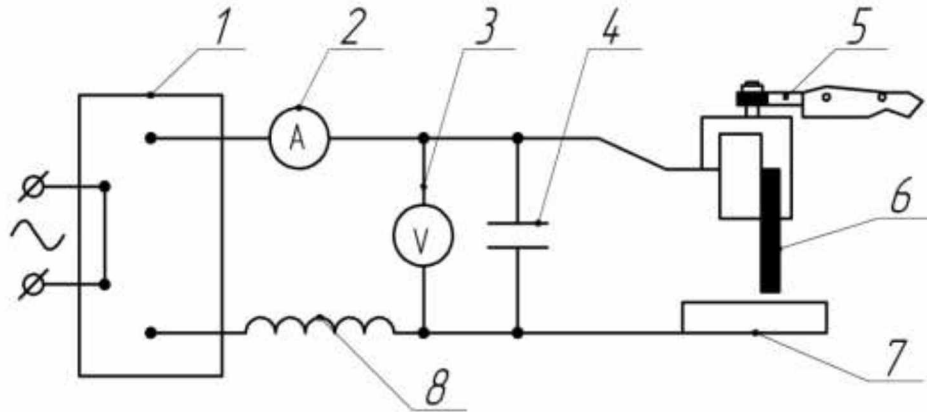
Зменшення довжини втулки призводить до зменшення площі її робочої поверхні, що призводить до істотного збільшення контактного тиску валу, в зв'язку з чим виникає підвищений знос. А це призводить до скорочення ресурсу. При осадженні необхідно дотримуватися наступних рекомендацій:

- внутрішній діаметр втулки повинен бути не більше 60 мм;
- величина зношування не повинна перевищувати 0,2 мм;
- зменшення початкової довжини втулки допускається в межах від 10 до 15% для пари, яка працює при нормальних навантаженнях;
- для з'єднань, що працюють при значних питомих навантаженнях, зменшення довжини втулки має бути не більше, ніж на 5-8%.

Обтискання застосовують для зменшення внутрішнього діаметру за рахунок зменшення зовнішнього. При стисненні втулку за допомогою преса продавлюють через конусні оправка або фільтери. Після обтискання внутрішній діаметр втулки розгортають, а зовнішній діаметр, який зменшується під час обтиску, нарощують різними способами.

Для нарощування зовнішньої поверхні втулки застосовують ряд методів, наприклад електроіскрова наплавка [8, 11, 16] дозволяє нарощувати до 0,2 мм. Сутність даної технології відновлення полягає в тому, що під дією імпульсів електричного струму відбувається руйнування матеріалу анода (електрод), продукти ерозії переносяться на деталь (катод). Під час обробки анод переміщається уздовж відновлюваної деталі, в результаті багаторазового впливу відбувається збільшення товщини деталі на необхідну величину. Принципова схема установки показана на рисунку 1.6. Після

обробки деталь очищається від випадково прилиплих часток металу, а також для зменшення нерівностей проводять розкочування роликми або кульками, що призводить до утворення маслостримуючих каналів.



1 - джерело живлення; 2 - амперметр; 3 - вольтметр; 4 - ємність розрядного конденсатора; 5 - вібратор; 6 - електрод; 7 - оброблювана деталь; 8 – активний опір

Рисунок 1.6 - Принципова електрична схема установки для проведення електроіскрового наплавлення

До переваг цього способу можна віднести:

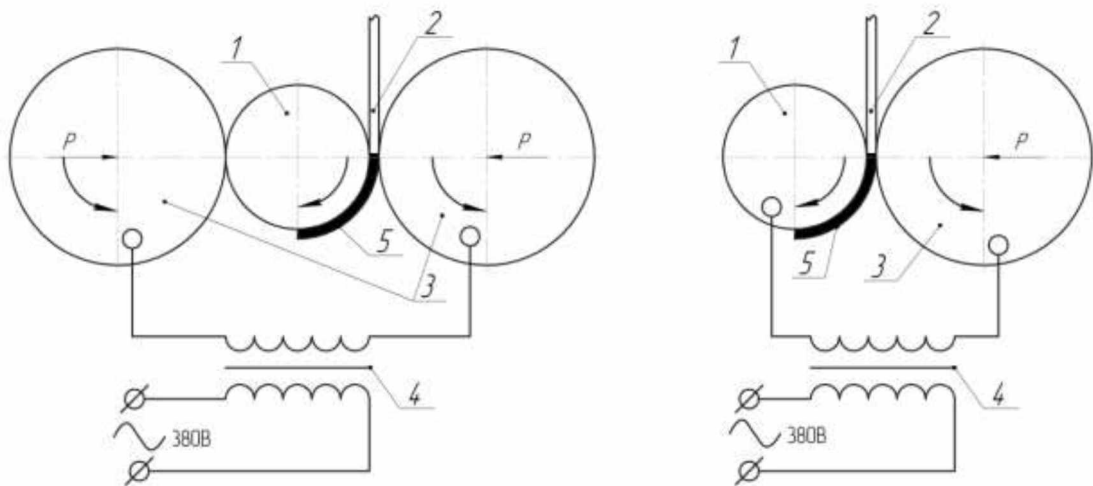
- невеликі зони температурного впливу;
- мінімальні втрати матеріалу електрода на розбризування;
- високе зчеплення нанесеного покриття з відновлюваною поверхнею деталі;
- малі габаритні розміри установок, що забезпечують можливість транспортування;
- можливість використання побутової енергомережі.

Поширенню цього способу перешкоджає ряд його недоліків, таких як невелика товщина відновлюваного покриття і високі енерговитрати.

Також одним із застосовуваних способів відновлення різних втулок є електроконтактне приварювання [8, 11, 19]. Для відновлення деталей таким способом використовуються металеві стрічки (сталь 08 кп і спечені стрічки).

Сутність даного методу полягає в точковому приварюванні матеріалу з одночасним деформуванням його і поверхні відновлюваної деталі.

Процес здійснюється наступним чином: приварювана стрічка притискається роликком до попередньо підготовленої відновлюваної деталі, потім між роликком і деталлю пропускається струм великої щільності (рис. 1.7).



а) схема з двома роликами

б) схема з одним роликком

P - сила притиснення роликів; 1 - відновлювана деталь; 2 - приварювана стрічка; 3 - ролики; 4 - трансформатор; 5 - нанесений шар

Рисунок 1.7 - Схеми установок для електроконтактного приварювання металевих стрічок

До переваг цього способу можна віднести:

- високу продуктивність;
- мінімальні втрати матеріалу;
- можливість зміни товщини шару, що наноситься;
- мінімальний термічний вплив;
- можливість відновлювати як зовнішні, так і внутрішні поверхні.

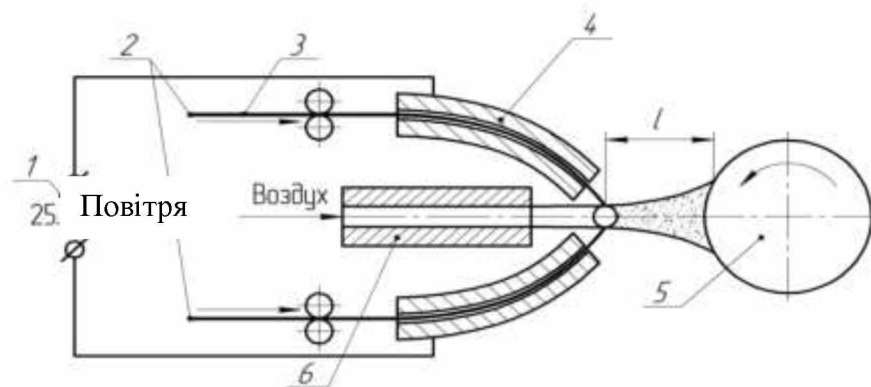
При всіх перевагах недоліками даного способу є:

- високий знос роликів електродів, в зв'язку з цим нестабільність процесу;

- висока трудомісткість підготовчого процесу.

Також існує ряд перспективних способів, застосування яких вимагає додаткового вивчення, наприклад відновлення деталей різними видами напилення. Дані способи дозволяють нарощувати зношену поверхню деталей до 0,8 мм.

Одним з видів відновлення деталей напиленням є дугове напилення [5, 8, 11, 19]. При даному виді металізації метал у вигляді двох електродних дротів розплавляється електричною дугою і під дією струменя стисненого повітря наноситься на підготовлену відновлювану поверхню (рис. 1.8).



1 - джерело живлення, 2 - електродний дріт, 3 - ізолювані ролики подачі дроту, 4 - латунні напрямні, 5 - відновлювана деталь, 6 - повітряне сопло, l - відстань від відновлюваної поверхні до дуги

Рисунок 1.8 - Схема дугового металізації

Подача дроту здійснюється за допомогою ізолюваних парних роликів, через які вона надходить в латунні напрямні, що знаходяться під напругою, що призводить до виникнення електричної дуги при зближенні дротів. Під дією повітря, що подається під тиском 0,45-0,6 МПа, розплавлені частинки металу переносяться на відновлювану поверхню деталі. Висока швидкість польоту частинок металу (120-130 м/с) сприяє відновленню зношеної поверхні деталі.

Для забезпечення надійного зчеплення між деталлю і нанесеним шаром з деталі видаляють оксидну плівку і надають відповідну шорсткість відновлюваної поверхні.

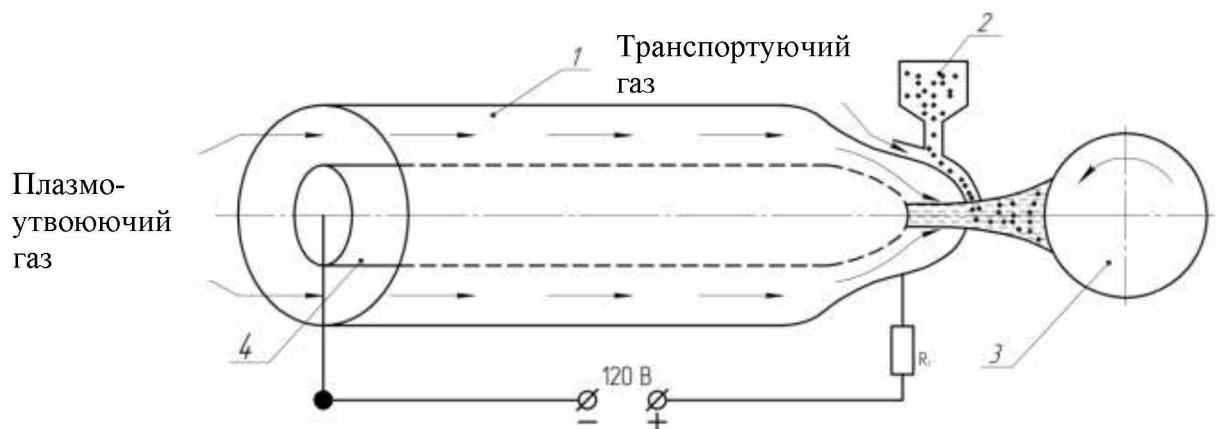
До переваг цього способу відносяться:

- низькі температури нагріву відновлюваної деталі, які не перевищують 150°C;
- завдяки пористості, нанесене покриття має самозмазуючий ефект.

Для даного способу характерні наступні недоліки:

- значні витрати металу;
- висока трудомісткість, пов'язана з необхідністю проводити видалення оксидної плівки і надавати поверхні необхідну шорсткість [19].

До відновлення зношених поверхонь деталей напиленням також відноситься плазмова наплавка [8, 11, 19]. Найбільшого поширення отримала наплавка з використанням металевих порошків, сутність якого полягає в тому, що в плазматроні при охолодженні плазмоутворюючим газом електричної дуги відбувається її звуження, в зв'язку з чим відбувається підвищення ступеня іонізації і температури до 10000 - 30000°C. Потрапляючи в плазмовий струмінь, металеві порошки розплавляються і частинки металу осідають на відновлювану поверхню (рис 1.9).



1 - мідне сопло, 2 – порошок, 3 - відновлювана деталь, 4 - вольфрамовий катод

Рисунок 1.9 - Принципова схема плазмової металізації

Крім порошкового матеріалу також застосовуються нейтральний дріт, два дроти разом або одночасно дріт і порошок.

Для відновлення зношених деталей застосовують закриту плазмову дугу, коли анодом є сопло.

До плюсів даного способу відносяться:

- можливість нанесення тугоплавких порошкових матеріалів;
- низькі температури нагріву відновлюваної деталі, які не перевищують 150°C;
- транспортуючий газ одночасно може виконувати і захисні функції;
- можливість відновлення тонкостінних деталей.

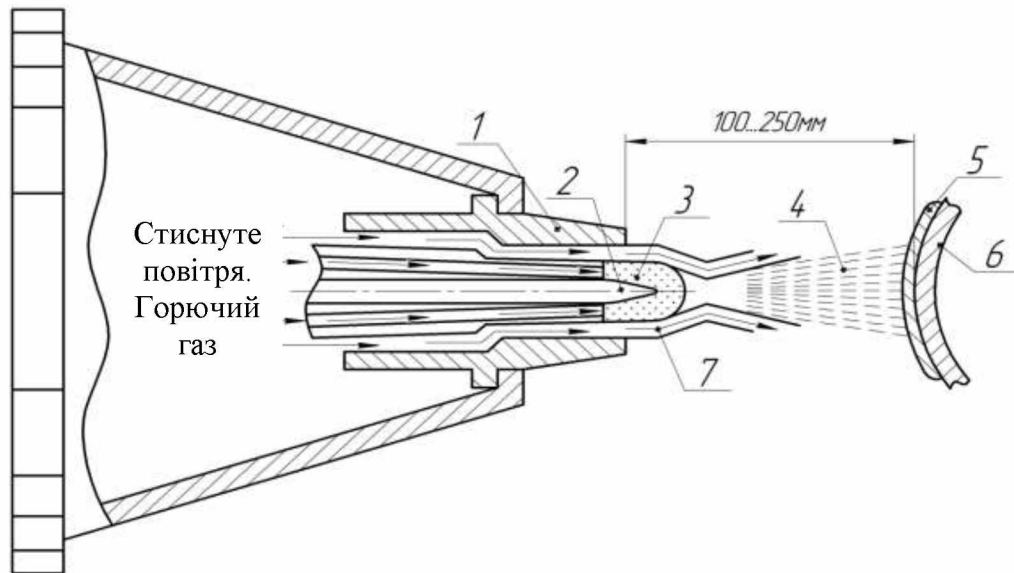
На жаль, при використанні порошкових матеріалів різні траєкторія і швидкість руху часток зменшують інтенсивність і повноту розплавлення, що погіршує якість покриття.

Найбільш поширеним способом відновлення деталей напиленням є газополуменеве напилювання [8, 11, 19, 20]. Сутність даної технології відновлення полягає в тому, що на попередньо підготовлену поверхню за допомогою газу, що транспортується і продуктів горіння наноситься попередньо розплавлений газом метал.

Існує два види газополуменевого напилення:

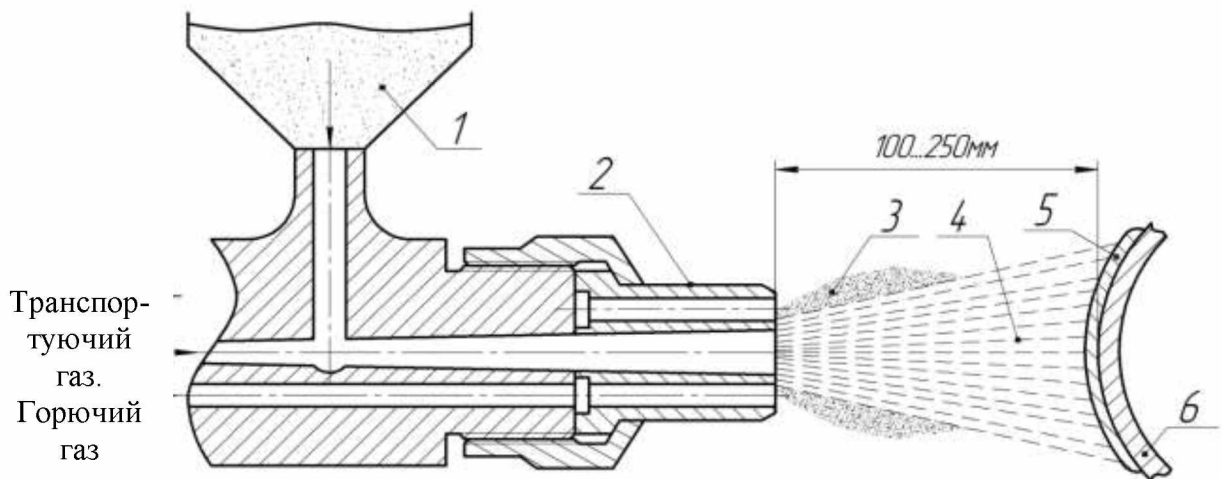
- дротова металізація (рис. 1.10), при якій дріт, що подається в пальник, розплавляється в полум'ї горючого газу, а потім, розпоршений на дрібні частинки стисненим повітрям, наноситься на відновлювану деталь.

Порошкове газополуменеве напилювання (рис. 1.11), при якому металевий порошок, що надходить з бункера, потрапляючи в струмінь газу, переноситься в газове полум'я, де розплавляється, а потім наплавляється на відновлювану поверхню.



1 - сопло; 2 - дріт; 3 - газове полум'я; 4 - частинки металу; 5 - наплавлювальний шар; 6 - відновлювана поверхня; 7 – повітряний потік

Рисунок 1.10 - Принципова схема дротяного газополуменевого напилення



1 - порошок; 2 - сопло; 3 - газове полум'я; 4 - частинки металу; 5 - наплавлювальний шар; 6 – відновлювана поверхня

Рисунок 1.11 - Принципова схема порошкового газополуменевого напилення

При своїй простоті і низькій собівартості відновлюваних деталей даний метод вимагає попередньої підготовки відновлюваної поверхні з метою підвищення зчеплюваності з напилюваним порошком.

Ще одним видом даного способу відновлення є детонаційне напилення [20]. Процес детонаційного напилення полягає в наступному: в робочу камеру надходить точна кількість вибухової суміші і металевого порошку, потім за допомогою запального пристрою відбувається займання. Після чого по стовбуру з вибухової камери відбувається поширення полум'я до виникнення детонаційної хвилі, швидкість поширення якої досягає 1000-3500 м/с. Частинки металу, які рухаються зі швидкістю 600-1000 м/с, при зіткненні з відновлюваною втулкою покривають її щільним шаром.

Даний метод має ряд переваг:

- високе зчеплення покриття з основою;
- отриманням щільної структури;
- підвищення термінів служби робочих поверхонь;
- температура нагріву деталі, що не перевищує 250°C.

Після проведення детонаційного напилення покриття при необхідності піддають додатковій обробці (точіння, фрезерування, шліфування).

Незважаючи на велику різноманітність способів відновлення зношених втулок серед уже наявних технологій відновлення невідомі дослідження по напіканню металевих порошоків на попередньо обтиснуті бронзові втулки.

Висновки, мета і завдання досліджень

При вивченні різних технологій відновлення деталей машин сільськогосподарського призначення, виготовлених з кольорових металів, і проведенні аналізу літературних джерел, було виявлено, що в даний час не існує досліджень з нанесення металевих порошоків на попередньо обтиснуті бронзові втулки методом електроконтактного напікання.

З огляду на високу ефективність електроконтактного напікання різних за складом металевих порошоків на відновлювані поверхні деталей і високу поширеність методів пластичної деформації, а також необхідність у відновленні бронзових підшипникових втулок, прийнято рішення провести дослідження з метою розробки технології відновлення бронзових втулок для підвищення ресурсу відновлюваної деталі.

Для досягнення поставленої мети були визначені наступні завдання дослідження:

- теоретично і експериментально обґрунтувати можливість нанесення електроконтактним напіканням металевих порошоків на залізній і нікелевої основі на зовнішню поверхню бронзових втулок;
- розробити режими нанесення металевих порошоків на бронзові втулки;
- провести дослідження фізико-механічних властивостей нанесеного покриття;
- виконати економічне обґрунтування запропонованої технології.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА І ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Методика проведення об'ємного обтискання бронзових втулок

Методика включає в себе методику отримання та вивчення фізико-механічних властивостей відновлюваної бронзової втулки методом об'ємного обтискання з нанесенням на зовнішню поверхню металевим порошком, а також методику визначення геометричних параметрів втулки після обробки і вивчення мікроструктурних змін бронзового сплаву після.

Для проведення експериментів були виготовлені втулки з конструктивним параметром Δ , що характеризує відношення величини товщини втулки до величини її зовнішнього діаметра, який був прийнятий рівним 0,08. Виходячи з цього значення і з огляду на те, що товщина стінок робочих втулок в основному становить 4-6 мм, були прийняті дані значення довжини і відповідні величини їх зовнішніх і внутрішніх діаметрів (рис. 2.1).

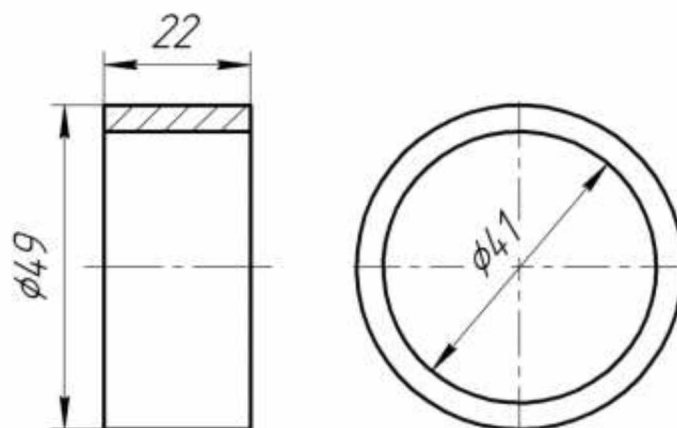
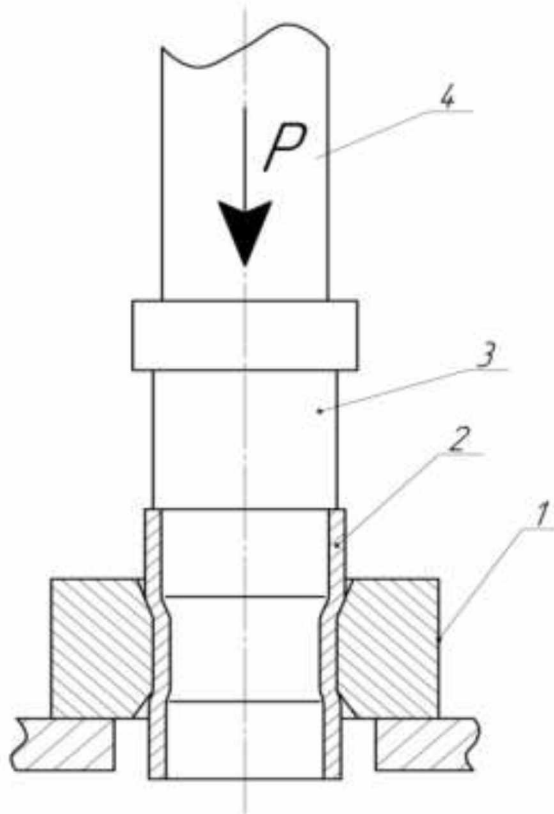


Рисунок 2.1 - Розміри зразка

Зразки виготовлялися на токарному верстаті при наступних режимах різання: $t = 0,1$ мм; $S = 0,12$ мм / об; $n = 630$ хв⁻¹.

Об'ємне обтискання зразків проводилося в вібраційному пристосуванні, конструктивна схема якого представлена на рисунку 2.2. В якості робочої частини пристосування служила змінна матриця з різними значеннями її внутрішнього діаметра $D_{\text{матр}}$ (рис 2.3).



1 - матриця; 2 - втулка; 3 - оправлення; 4 - шток преса.

Рисунок 2.2 - Схема установки для проведення об'ємного обтискання зразків

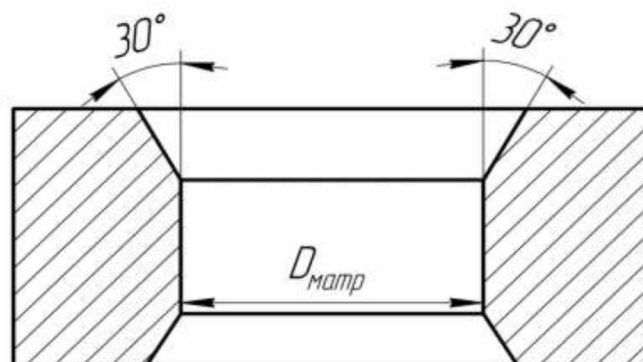


Рисунок 2.3 - Схема матриці для обтискання

Діаметр самої матриці визначався з виразу:

$$D_{\text{матр}} = D_{\text{зов}} \quad (2.1)$$

Виходячи з проведеного аналізу матеріалів, що застосовуються в конструкціях сільськогосподарських машин, як матеріал для проведення досліджень була обрана бронза Бр О5Ц5С5, хімічний склад якої приведений в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Хімічний склад бронзи Бр О5Ц5С5

Fe	Si	P	Al	Cu	Pb	Zn	Sb	Sn	Домішки
до 0,4	до 0,05	до 0,1	до 0,05	80,7 - 88	4 - 6	4 - 6	до 0,5	4 - 6	всього 1.3

В результаті за даними проведених досліджень для експериментів були виготовлені матриці, що забезпечують необхідну величину натягу.

Відповідність величини натягу і внутрішнього діаметра матриці представлено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Відповідність величини натягу і внутрішнього діаметра матриці ($D_{\text{матр}}$)

Величина натяга ΔH , мм	$D_{\text{матр}}$, мм
2	48
1,5	47
1	46
0,5	45

2.2. Дослідження геометричних та мікроструктурних змін бронзових втулок після обробки

Для оцінки змін геометричних параметрів бронзових втулок після об'ємного обтискання проводилися вимірювання довжини (в 6 перетинах),

зовнішніх і внутрішніх діаметрів (в шести перетинах по колу, на різній висоті – в трьох перетинах).

Вимірювання висоти проводилося за допомогою штангенциркуля ШЦЦ-I-125, для вимірювань внутрішніх діаметрів застосовувався нутромір НІ 35-50, вимір зовнішніх діаметрів здійснювалося за допомогою штангенциркуля ШЦЦ-I-125.

Для аналізу структурних змін після проведення об'ємного обтискування бронзових втулок проведені мікроструктурні дослідження. Для проведення мікроструктурних досліджень були виготовлені мікрошліфи за стандартною методикою. Травлення проводилося реактивом в складі: 30мл 10% HCl і 5гр FeCl₃. Після травлення зразки поміщалися на кілька секунд в 10% HCl, а потім промивалися дистильованою водою і висушують.

Мікроструктурні дослідження проводься на металографічному мікроскопі МІМ-6 з цифровим окуляром при збільшенні в 400 разів (рис. 2.4).

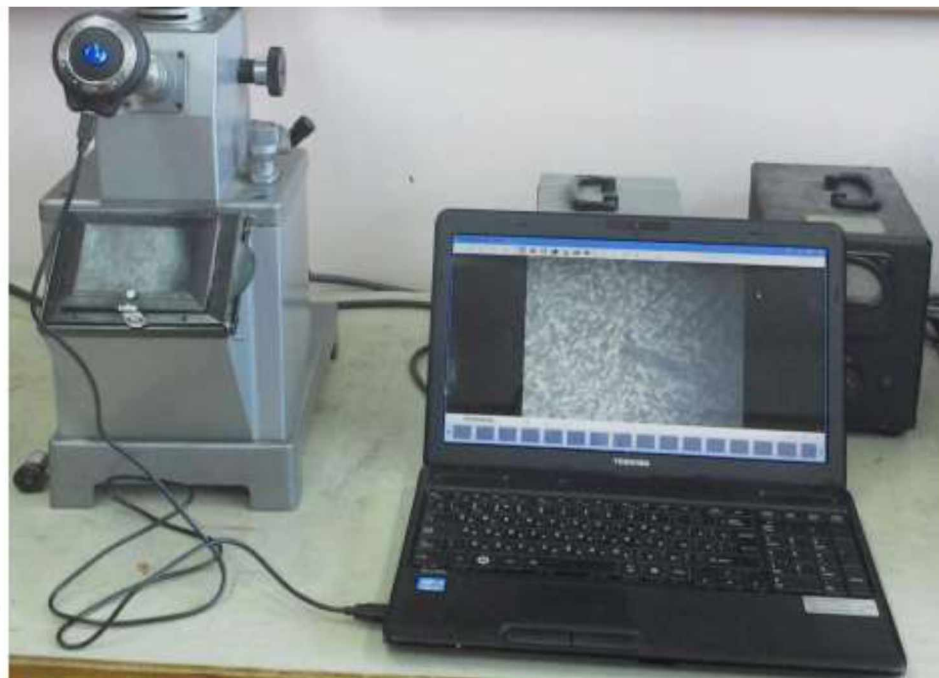


Рисунок 2.4 - Металографічний мікроскоп МІМ-6 з цифровим окуляром

Металеві порошки знаходять широке застосування в різних ремонтних технологіях. Завдяки нанесенню їх на відновлювану поверхню деталі можна не тільки наростити поверхню на необхідну величину, але і поліпшити різні фізико-механічні властивості деталі, такі як зносостійкість; поліпшити жаростійкість і інші характеристики.

Сучасна металургійна промисловість випускає широку гаму металевих порошків за розміром частинок (табл. 2.3), відповідно до якої для певного типу нанесення рекомендуються різні класи порошків. Наприклад, для напилення переважно використовувати порошки з 1-го по 9-й клас за розмірами частинок; для наплавлення - з 8-го по 18-й.

Таблиця 2.3 – Класифікація порошків по розміру частинок [20]

Позначення класу	Розмір частинок (фракція), мкм	Позначення класу	Розмір частинок (фракція), мкм
1	5-20	10	100-140
2	5-45	11	400-280
3	20-45	12	100-400
4	Менше 45	13	100-630
5	20-63	14	160-280
6	Менше е 63	15	280-400
7	40-100	16	Менше 400
8	Менше 125	17	Менше 630
9	90-100	18	Менше 800

При позначенні металевого порошку першим вказують тип порошку, потім через тире марку в залежності від хімічного складу і позначення класу або мінімальний і максимальний розміри частинок, розділені дробом. У позначення марок порошків за хімічним складом включають літерні позначення елементів (компонентів) і номінальне утримання одного-трьох легуючих елементів у відсотках, зазначених після відповідної букви [21].

Аналізуючи дослідження з приварення спеченої стрічки на бронзові втулки, до складу яких входило до 60% нікелю, був обраний порошок на основі нікелю [21]. З метою зменшення зношування також був обраний порошок на основі заліза.

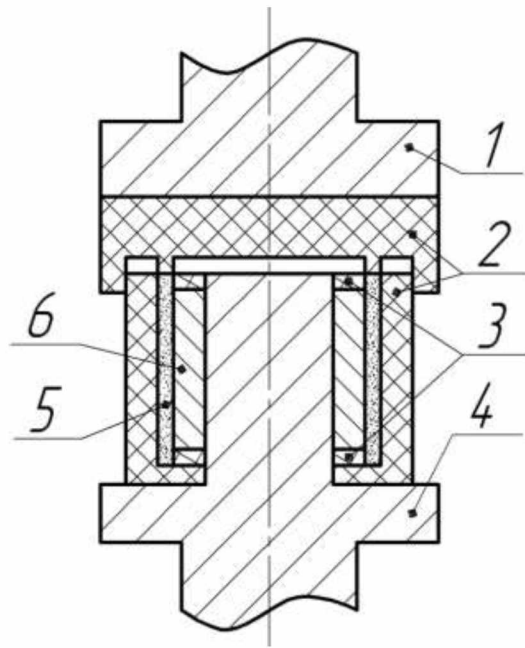
Марки і хімічний склад порошків, використовуваних при нанесенні, наведені в таблиці 2.4

Таблиця 2.4 - Марки і хімічний склад порошків для нанесення на бронзові втулки

Марка порошку	Fe	Cr	Ni	C	O	S	Ca	Si	B
ПХ-30	Основа	30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,01	<0.20	-	-
ПР-Н80Х13С2Р	<3	12-14	Осно-ва	0,2-0,4	-	-	-	2,0-2,8	1,2-1,8

Для електроконтактного напикання металевих порошків на зношену зовнішню поверхню бронзової втулки використовувалася зварювальний установка МТ-1618. Використання імпульсного струму дозволяє нагрівати до температури напикання порошку за короткий проміжок часу і підтримувати її необхідний час.

Через високу температуру плавлення металевих порошків, значно перевищує температуру плавлення бронзи відбувається оплавлення втулки. Для запобігання розплавлення поверхні відновлюваної бронзової деталі був використаний спеціальний електрод (рис. 2.5), що дозволило виконувати обробку металевих порошків на бронзову поверхню без розплавлення відновлюваної деталі.



1 - верхній електрод; 2 - графіт; 3 - азбест; 4 - нижній електрод; 5 – сталевий порошок; 6 - бронзова втулка

Рисунок 2.5 - Схема напикання металевого порошку

У дослідження фізико-механічних властивостей нанесеного покриття входило: визначення твердості; визначення міцності зчеплення напеченого шару з поверхнею зразка; визначення зносостійкості внутрішніх поверхонь бронзових втулок після механічної обробки точінням.

Вимірювання твердості проводилося за методом Роквелла шляхом вдавнення алмазного конуса з кутом 120° при вершині і навантаженням $0,15\text{кН}$.

Для проведення вимірювань поверхневої твердості нанесеного шару зразок піддавався обробці на токарному верстаті з метою отримання шорсткості $R_a = 6 - 12\ \mu\text{м}$, що відповідає величині шорсткості зовнішньої поверхні втулок, використовуваних в сільськогосподарських машинах.

У зв'язку з великою площею поверхні нанесеного шару для отримання достовірних результатів вимірювання твердості поверхні дослідження проводилися з повторюваністю, що дорівнює п'яти. Остаточна величина поверхневої твердості визначалася як середнє арифметичне.

Так само були проведені вимірювання твердості нанесеного шару бронзової втулки і граничного шару в поздовжніх і поперечних перетинах відновленої втулки (рис 2.6).

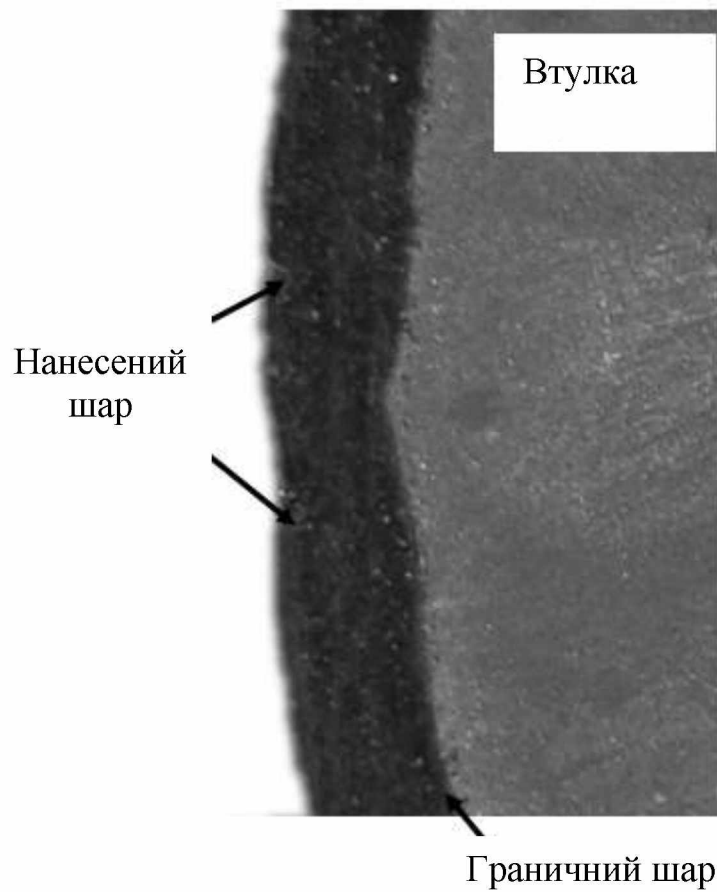


Рисунок 2.6 - Зони вимірювання твердості

Вимірювання твердості за методом Роквелла за допомогою ультразвукового твердоміра МЕТ-У1А (рис. 2.7) проводилися наступним чином: датчик встановлювався перпендикулярно зоні вимірювання, потім здійснювалося плавне натискання на корпус датчика з зусиллям не менш 0,15кН (при більшому зусиллі спрацьовував обмежувач). Після чого датчик утримувався без зміни положення і зусилля до звукового сигналу закінчення вимірювання.



1 - ультразвуковий датчик; 2 - електронний блок.

Рисунок 2.7 – Загальний вигляд твердоміру

Для визначення міцності з'єднання покриття був обраний метод зсуву. Дослідження міцності зчеплення відбувалися наступним чином: втулку з нанесеним покриттям надівали на гвинт навантаження з матрицею до упору. Далі гвинт навантаження вкручувати в опорну чашку таким чином, щоб пружина притиснула оправлення до нанесеного покриття без зазору. Потім зібрана конструкція вставлялася в корпус, після чого загвинчують матрицю і кришку. При обертанні навантажувального гвинта відбувалося вдавнення втулки в оправлення і під дією дотичних напружень відокремлювався нанесений шар від втулки. Після проведення випробування зразок оглядали і, якщо покриття відділялося по всій поверхні втулки, вважалось, що випробування достовірно.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ
ДОСЛІДЖЕНЬ3.1. Визначення оптимальних конструктивних параметрів матриці
для обтискання

Рекомендації дослідників [21] по відновленню зношених поверхонь бронзових втулок, що застосовуються в якості підшипників ковзання, методом об'ємного обтискання не знаходять широкого практичного застосування через відсутність конкретних конструктивних рішень обтискної частини пристосування, а саме обтискної матриці.

Конструктивна схема типової матриці показана на рисунку 3.1.

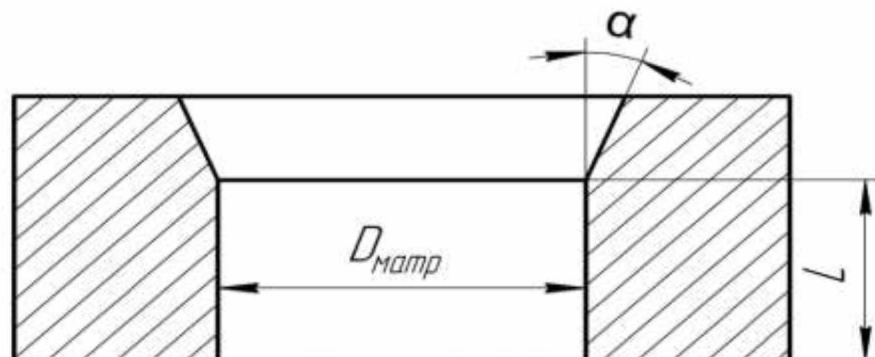


Рисунок 3.1 - Конструктивні параметри обтискної матриці

Її основними конструктивними параметрами є:

- кут конусної частини матриці - α , град;
- внутрішній діаметр матриці - D , мм;
- довжина циліндричного деформуючого паска - L , мм.

Як показує практика, при застосуванні такої конструктивної схеми матриці часто не враховується вплив конструктивних елементів матриці при об'ємному стисненні втулок з різними геометричними параметрами.

Основними параметрами відновлюваної втулки є:

- Δ - відношення товщини стінки втулки S до величини її зовнішнього діаметра $D_{\text{зов}}$;
- довжина втулки l .

Відомо, що технологія застосування об'ємного обтискання пустотілих циліндричних деталей (втулок) обмежується через утворення в процесі об'ємного обтиску складок по довжині втулки в зоні впливу на метал пластичної деформації. Дане явище називається втратою стійкості матеріалу деталі в процесі об'ємного деформування.

Дослідження ряду авторів [3, 4, 21] показують, що таке утворення складок залежить від ступеня деформації металу, кута західної частини матриці і відносної товщини стінок втулок $\Delta (S / D_{\text{зов}})$.

До теперішнього часу немає теоретичних і експериментальних досліджень об'ємного обтискання бронзових втулок і, конкретно, бронзових олов'янистих втулок з матеріалу Бр.О5Ц5С5.

Ступінь деформації при об'ємному стисненні оцінюється коефіцієнтом обтиску $K_{\text{обт}}$. Даний коефіцієнт представляє собою відношення середніх діаметрів недеформованого і деформованого зразків:

$$K_{\text{обт}} = \frac{D_{\text{сп}}}{D_{\text{сп}}^{\text{обт}}}, \quad (3.1)$$

де $D_{\text{сп}}$ - середній діаметр втулки до об'ємного обтискання, мм;

$D_{\text{сп}}^{\text{обт}}$ - середній діаметр втулки після об'ємного обтискання, мм.

Середній діаметр втулки визначається як напівсума зовнішнього і внутрішнього діаметрів.

Для визначення ступеня деформації матеріалу втулки використовується зворотна величина коефіцієнта обтискання:

$$K_{обт.зв} = \frac{1}{K_{обт}}, \quad (3.2)$$

Ступінь деформації матеріалу втулки ψ визначається як:

$$\psi = (1 - K_{обт.зв}) \cdot 100\%, \quad (3.3)$$

Очевидно, що ступінь деформації досягає своєї максимальної величини, коли коефіцієнт обтискання буде гранично допустимим.

Величина гранично допустимого коефіцієнта обтискання $K_{гп}$ залежить від цілого ряду чинників, головні з яких наступні:

- механічні характеристики матеріалу деталі;
- величина сил тертя на поверхні контакту деталі і матриці;
- кут конусної частини матриці.

Узагальнення даних досліджень по складкоутворенню порожніх циліндричних сталевих деталей дозволило вивести формулу визначення величини максимального ступеня деформації при об'ємному стисненні бронзових втулок з матеріалу Бр.О5Ц5С5 в момент втрати стійкості. Дана формула має вигляд:

$$\psi = \varphi \sqrt{\frac{\cos \alpha}{1 + \mu \cdot \operatorname{ctg} \alpha}} \cdot 100\%, \quad (3.4)$$

де φ - коефіцієнт, що враховує матеріал втулки, $\varphi = 1,25$;

У таблиці 3.1 представлені значення максимального ступеня деформації і величина граничного коефіцієнту обтискання для різних кутів α обтискної матриці при коефіцієнтах тертя $\mu = 0,05$ (касторове масло), $\mu = 0,075$ (машинне масло), що викликають складкоутворення.

Таблиця 3.1 - Значення максимального ступеня деформації і величини граничного коефіцієнту обтискання

α , град	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30
μ	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
ψ	12	13	13,5	13,5	1,35	1,35	10,5	12,5	13	13,2	13,2	13,2
$K_{гп}$	1,36	1,37	1,38	1,38	1,38	1,38	1,35	1,36	1,37	1,37	1,37	1,37

На рисунку 3.1 представлені отримані залежності за даними таблиці

3.1. K_{gp}

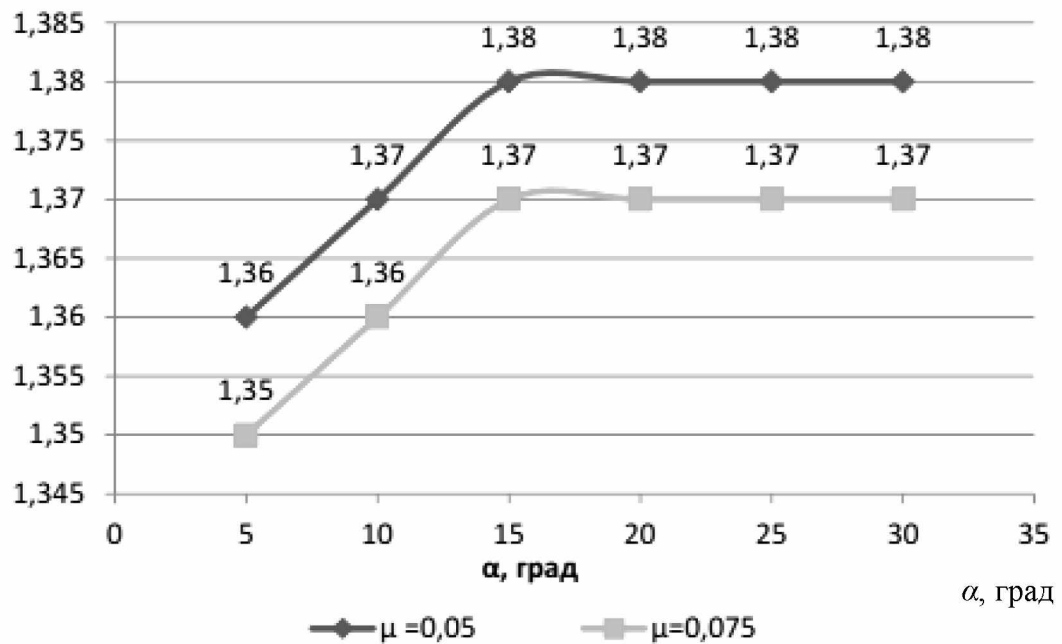


Рисунок 3.1 - Залежність гранично допустимого коефіцієнта обтискання від кута західної частини матриці

Результати досліджень показали, що:

1. Збільшення кута західної частини обтискної матриці практично мало впливає на величину граничного коефіцієнта обтиску олов'янистої бронзи, при якій відбувається втрата стійкості втулки.

2. Велика величина коефіцієнта тертя призводить до зниження величини максимального ступеня деформації, але несуттєво.

3. Для успішного здійснення технологічного процесу об'ємного обтискання бронзових втулок необхідно, щоб величина пластичної деформації становила до 10-15% при мінімальному коефіцієнті тертя.

Як відомо, при об'ємному стисненні зовнішньої поверхні бронзової втулки відбувається зменшення величини зовнішнього діаметра втулки з одночасним зменшенням величини внутрішнього діаметра.

Характер залежності між зміною зовнішнього і внутрішнього розмірів бронзової втулки при її об'ємному стисненні з урахуванням величин конструктивного параметра Δ і внутрішнього діаметра обтискної матриці $D_{матр}$ до цього часу не досліджувалася.

Для визначення характеру такої залежності були проведені дослідження по об'ємному обтисненню бронзових втулок з матеріалу БрО5Ц5С5 з конструктивним параметром $\Delta = 0,06$, $\Delta = 0,08$, $\Delta = 0,01$ і товщиною стінки 4 і 6 мм.

У таблиці 3.2 представлені вихідні розміри втулок для проведення досліджень.

Таблиця 3.2 - Розміри втулок для об'ємного обтискання

Товщина стінки S, мм	$D_{зов},$ мм	$D_{вн},$ мм	$\Delta = S / D_{зов}$
4	40	32	0,1
	49	41	0,08
	65	57	0,06
6	60	48	0,1
	75	63	0,08
	100	88	0,06

Схема об'ємного обтискання втулки і зміни її розмірів наведена на рисунку 3.2.

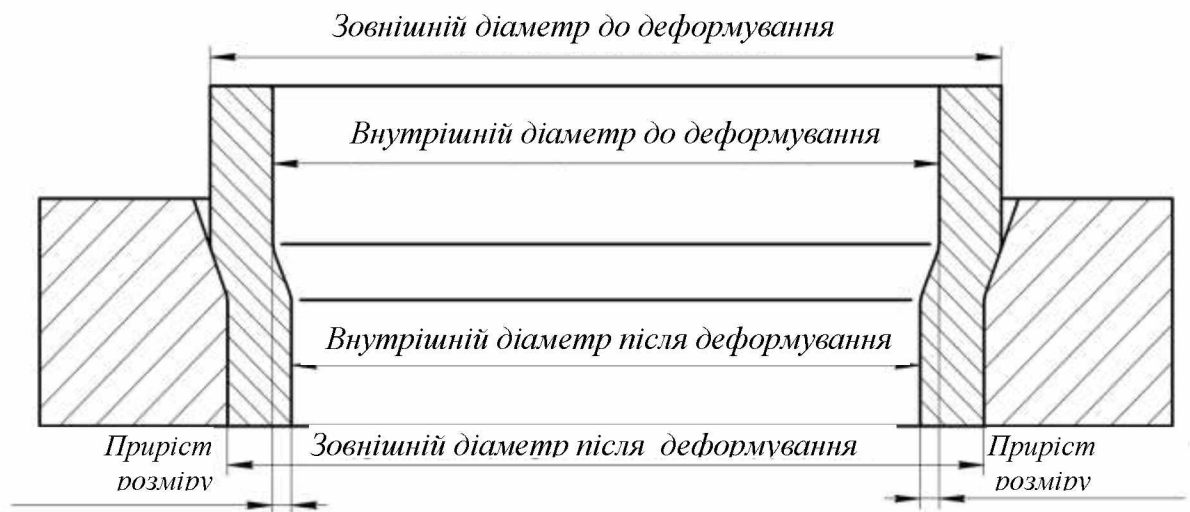


Рисунок 3.2 – Схема об'ємного обтискання втулки

Для збереження єдиної оцінки прикладення зусилля на деформований шар металу втулки з різною величиною товщини її стінки і її зовнішнього діаметра було прийнято постійне співвідношення розміру діаметра матриці $D_{матр}$ і розміру зовнішнього діаметра втулки $D_{зов}$. Дане співвідношення позначалося символом:

$$\beta = \frac{D_{матр}}{D_{зов}}. \quad (3.5)$$

Для експериментів були прийняті чотири величини β , які для всіх груп втулок становили 0,92; 0,94; 0,96; 0,98.

Для середньої оцінки ступеня деформації при об'ємному стисненні втулок була прийнята величина «натяг обтискання» ΔH , яка характеризувалася як різниця між розміром зовнішнього діаметра втулки і внутрішнім діаметром обтискної матриці $D_{матр}$.

$$\Delta H = D_{зов} - D_{матр}. \quad (3.6)$$

При проведенні експериментів були прийняті наступні значення ΔH : 0,5; 1,0; 1,5 і 2,0 мм.

Так як характер взаємної зміни величини зовнішнього і внутрішнього діаметрів втулок при їх об'ємному стисненні для прийнятих груп втулок був однаковий, то нижче представлені результати експериментів об'ємного обтискання втулок з товщиною стінки 4 мм при $\Delta = 0,08$.

У таблиці 3.3 наведені результати експериментів об'ємного обтискання даних втулок.

Таблиця 3.3 - Результати експериментів

Назва параметру	Значення параметру			
	2	3	4	5
1				
Зовнішній діаметр втулки до обтискання, $D_{зов}$, мм	49	49	49	49
Внутрішній діаметр втулки до обтискання, $d_{вн}$, мм	41	41	41	41
Значення β	0,92	0,94	0,96	0,98
Діаметр матриці $D_{матр}$, мм	45	46	47	48

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5
Величина натягу ΔH , мм	2,0	1,5	1,0	0,5
Зовнішній діаметр втулки після обтискання	45,5	46,4	47,3	48,2
Зменшення зовнішнього діаметру втулки ΔD , мм	3,5	2,6	1,7	0,8
Внутрішній діаметр втулки після обтискання, $d_{обт}$, мм	37,3	38,3	39,3	40,2
Зменшення внутрішнього діаметру втулки Δd , мм	3,7	2,7	1,7	0,8
Коефіцієнт обтискання $K_{обт}$	1,08	1,06	1,04	1,02
Величина ступеня деформації ψ , %	8	6	4	2

Зміна зовнішнього і внутрішнього діаметрів втулок від значення β представлені на рисунках 3.3 і 3.4, а від значення ΔH на малюнках 3.5 і 3.6.

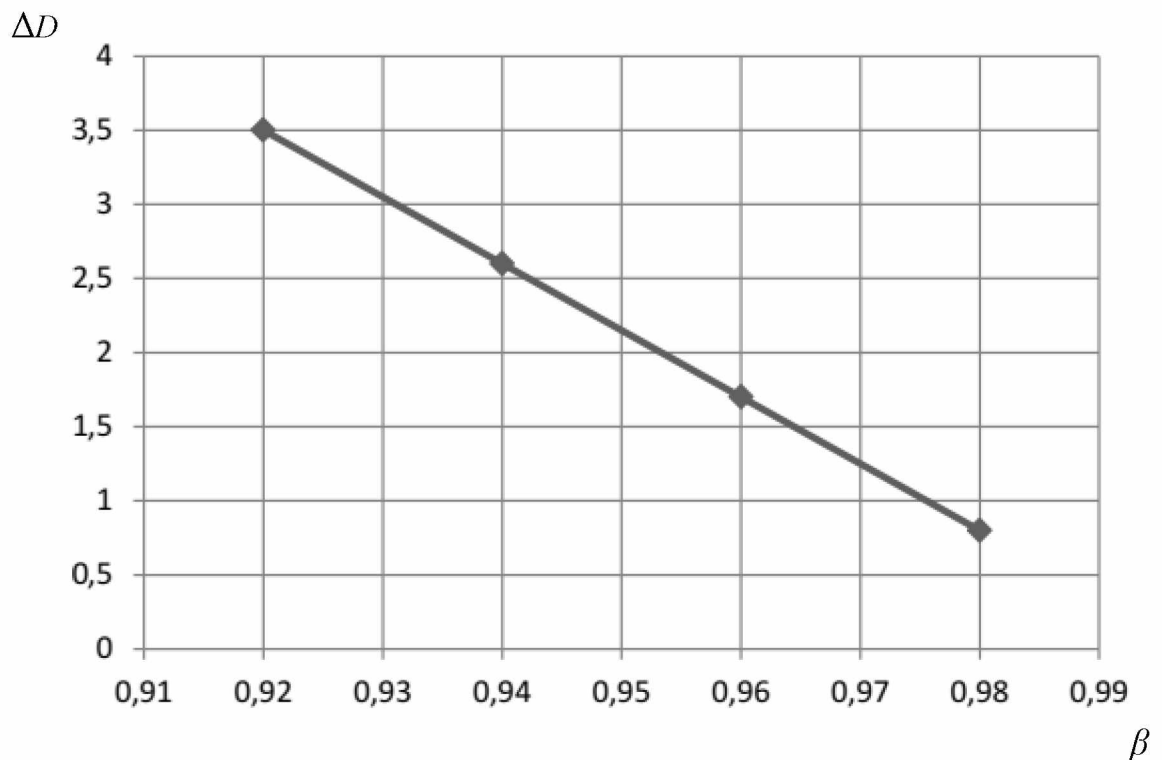


Рисунок 3.3 - Характер зміни зовнішнього діаметра втулки від значення β

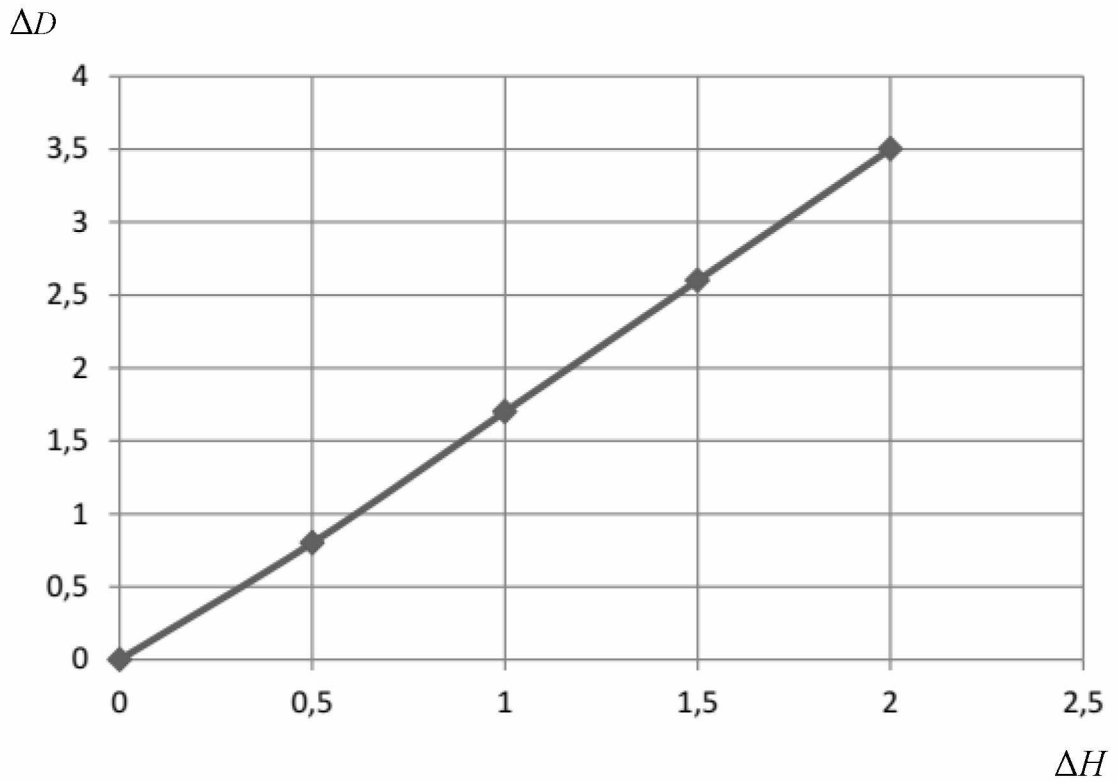


Рисунок 3.4 - Характер зміни зовнішнього діаметра втулки від значення ΔH

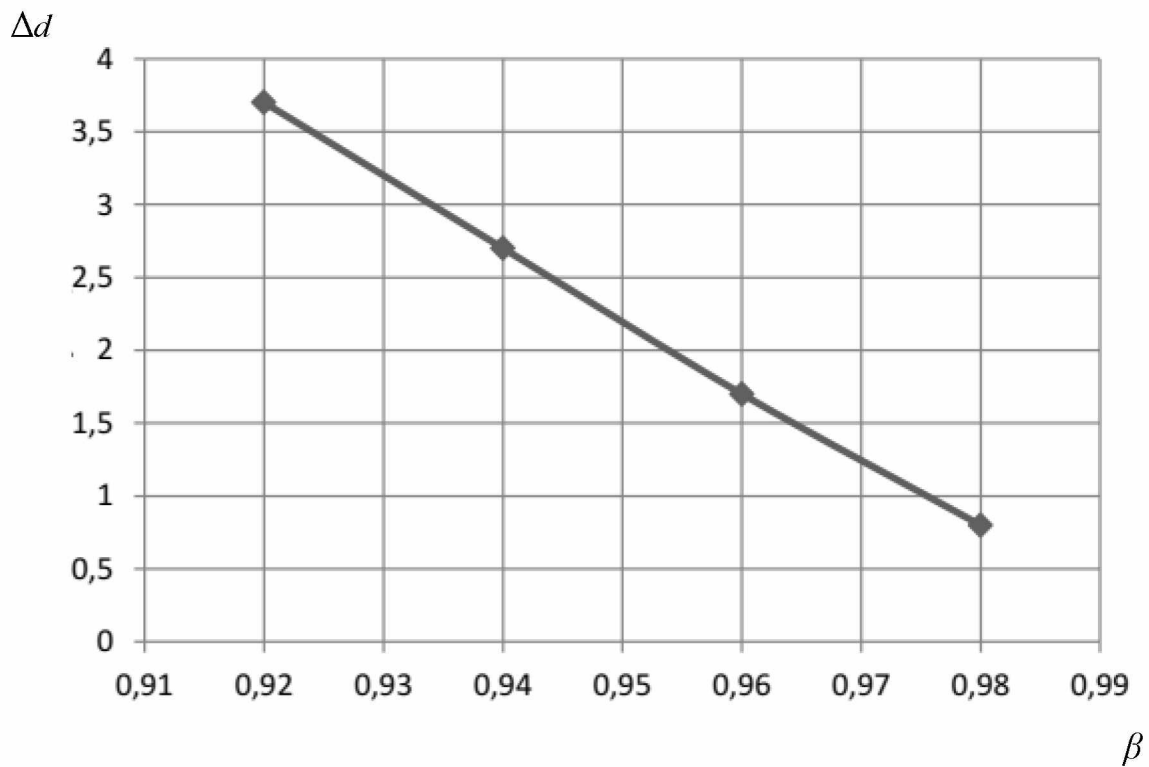


Рисунок 3.5 - - Характер зміни внутрішнього діаметра втулки від значення β

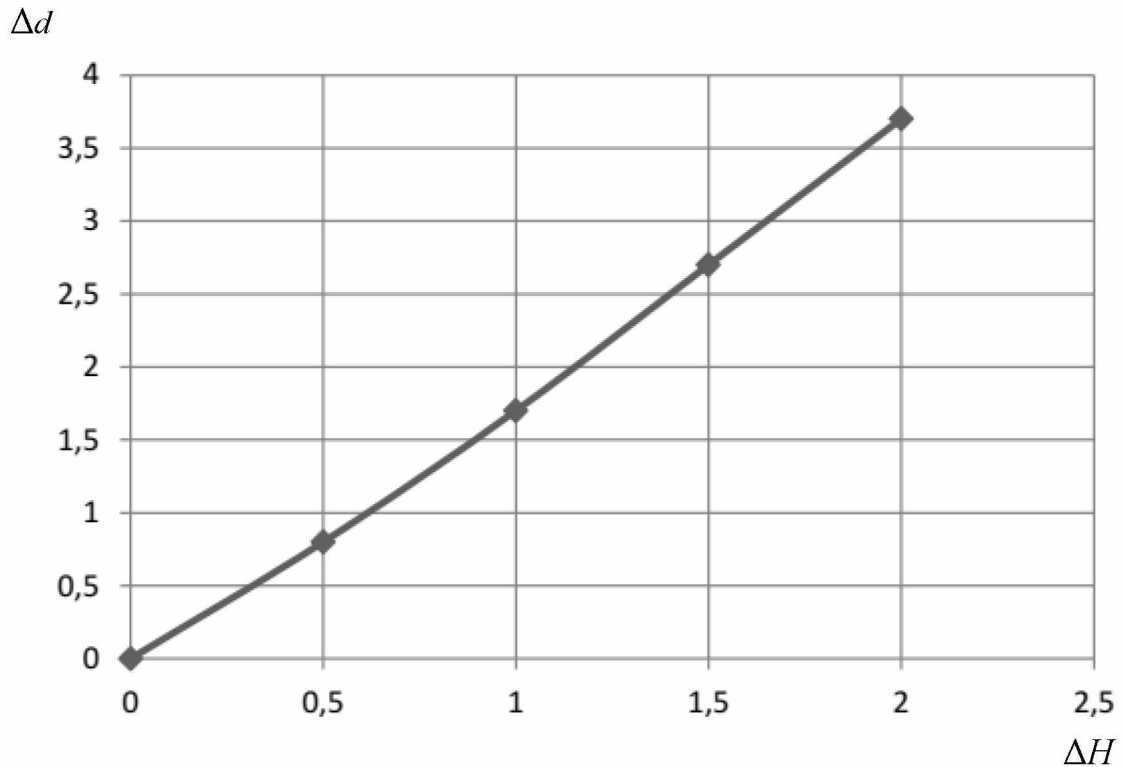


Рисунок 3.6 - Характер зміни зовнішнього діаметра втулки від значення ΔH

Аналіз цих графіків показує прямолінійну залежність зміни зовнішнього і внутрішнього діаметрів втулок при їх об'ємному стисненні від співвідношення внутрішнього діаметра матриці до зовнішнього діаметру обтискної втулки.

3.2. Визначення основних технологічних параметрів процесу обробки бронзових втулок

3.2.1. Визначення температури обробки

Температура напівання для порошку ПР-Н80Х13С2Р була обрана від 1000 ° до 1300°C. Температура змінювалася з кроком в 50°C, при цьому час напівання змінювався від 40 с до 120 с, сила струму при цьому вибиралася таким чином, щоб за заданий час досягти необхідної температури. Величина

опору між електродами становила 0,0006 Ом; питома теплоємність порошку становила 440 Дж/кг[°]С, а матеріалу відновлюваних деталей 370 Дж/кг[°]С. Насипна маса порошку становила близько 6 г. Товщина відновленого шару склала 2 мм. Шорсткість відновлюваної поверхні після обробки на токарному верстаті перебувала в межах від 10 до 15 мкм.

В результаті проведених досліджень по напіканню порошку ПРН80Х13С2Р до поверхні втулки, виготовленої з Бр О5Ц5С5, було з'ясовано, що при температурі в зоні спікання, що не перевищувала 1100[°]С, відбувається неповне по площі припікання порошку до поверхні втулки. Зі збільшенням температури даний дефект усувається (рис 3.7).



а) при температурному інтервалі від 1000[°] до 1100[°]С, б) при температурному інтервалі вище 1100[°]С

Рисунок 3.7 - Втулка з нанесеним порошком

Проведені мікроструктурні дослідження, представлені на рисунках 3.8 і 3.9, показали наступне: при напиканні нікелевого порошку ПР-Н80Х13С2Р на олов'янисту бронзову поверхню в інтервалі 1100 - 1200 ° відбувається хороша взаємна зчіплюваність елементів порошку і бронзи. Під час напикання нікелевого порошку в зоні спікання відбувається утворення сплаву Cu-Ni. При температурі, що перевищує 1200 °, відбувається вигоряння цього сплаву, що призводить до утворення пор, зменшення твердості і зчеплення.

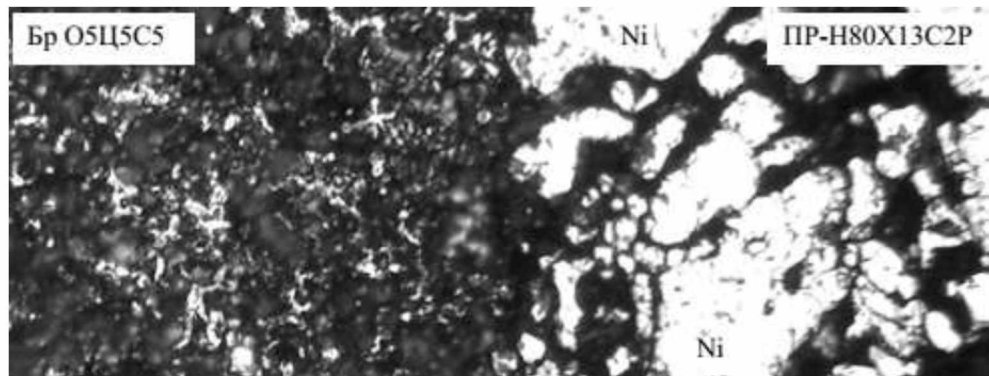


Рисунок 3.8 - Мікроструктура граничного шару відновленої втулки при напиканні порошку в діапазоні температур от 1100 °С до 1200 °С.

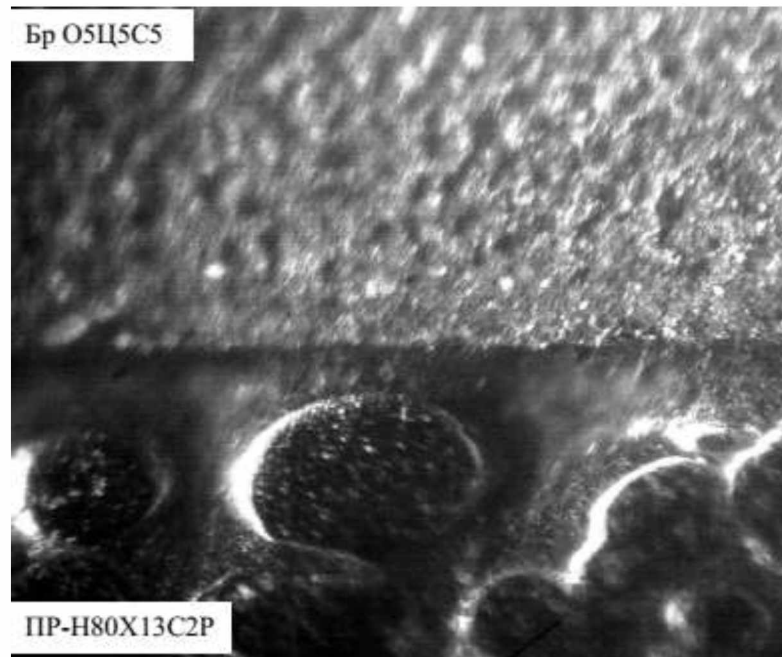


Рисунок 3.9 - Мікроструктура граничного шару відновленої втулки при напиканні порошку в діапазоні температур від 1200 °С до 1300 °С.

В результаті проведених досліджень було встановлено, що найкраще якість нанесеного шару досягається при температурі поверхні графітової оболонки $1055 \pm 5^\circ\text{C}$, а температура шару досягає $1160 \pm 5^\circ\text{C}$. При даній температурі нагріву не відбувається активного вигорання сплаву Cu-Ni і забезпечується максимальне зчеплення металевого порошку з бронзовою втулкою.

3.2.2. Визначення міцності зчеплення

Дослідження з метою вивчення впливу температури нанесення на міцність зчеплення шару з бронзовою втулкою проводилися відповідно з методикою, наведеною в третьому розділі.

Для вимірювання міцності зчеплення порошку ПР-Н80Х13С2Р з бронзовою втулкою обрані зразки з температурою напикання $1100 \pm 5^\circ\text{C}$, $1160 \pm 5^\circ\text{C}$, $1200 \pm 5^\circ\text{C}$. Час напикання становив 70 с, а тиск електродів 25 МПа.

Результати експериментів по визначенню міцності зчеплення представлені на рис. 3.10.

Значення міцності зчеплення, МПа

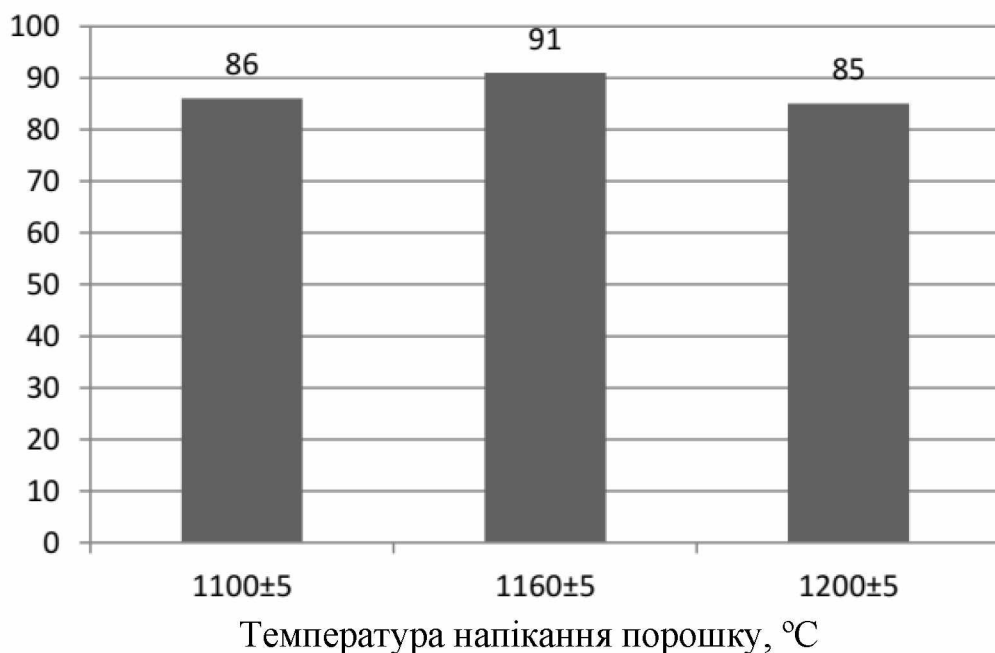


Рисунок 3.10 - Зміна значення міцності зчеплення в залежності від температури напикання порошку ПР-Н80Х13С2Р

В результаті проведених досліджень було з'ясовано наступне:

1. Найбільше значення міцності зчеплення досягається при температурі $1160 \pm 5^\circ\text{C}$, що підтверджує правильність обраної температури напикання.
2. Температура напикання в діапазоні от $1100 \pm 5^\circ\text{C}$ до $1160 \pm 5^\circ\text{C}$ не є істотним фактором зміни фізико-механічних властивостей при відновленні бронзових втулок методом нанесення металевих порошоків нікелево-хромистого складу. Коливання величини міцності зчеплення шару з олов'янистою бронзовою втулкою не перевищує 7%.
3. Зниження міцності зчеплення на 15% при температурі $1200 \pm 5^\circ\text{C}$ пояснюється виникненням пористості, пов'язаної з вигоранням сплаву Cu-Ni.

3.2.3. Визначення твердості поверхні

Для підтвердження правильності вибору оптимальної температури напикання металевих порошоків проведені дослідження по визначенню твердості.

Для проведення досліджень по визначенню твердості обрані зразки з температурою $1160 \pm 5^\circ\text{C}$ і $1180 \pm 5^\circ\text{C}$ для порошку ПР-Н80Х13С2Р. Перед початком досліджень зразки оброблялися на токарному верстаті з частотою обертання 630 хв^{-1} , глибиною різання 0,25 мм і подачею 0,07 мм/об.

Результати вимірювань твердості відновлених втулок за допомогою напикання порошку ПР-Н80Х13С2Р представлені на рис. 3.11.

Як впливає з результатів досліджень, представлених на рисунку 3.11 збільшення температури напикання порошку ПР-Н80Х13С2Р призводить до зменшення твердості. Це пов'язано з тим, що при високих температурах виникає пористість, пов'язана з вигоранням сплаву Cu-Ni, що негативно впливає на твердість. Також при температурі в $1160 \pm 5^\circ\text{C}$ твердість в зоні спікання наближається до твердості нанесеного шару при температурі $1200 \pm 5^\circ\text{C}$, що також свідчить про правильність вибору температури.

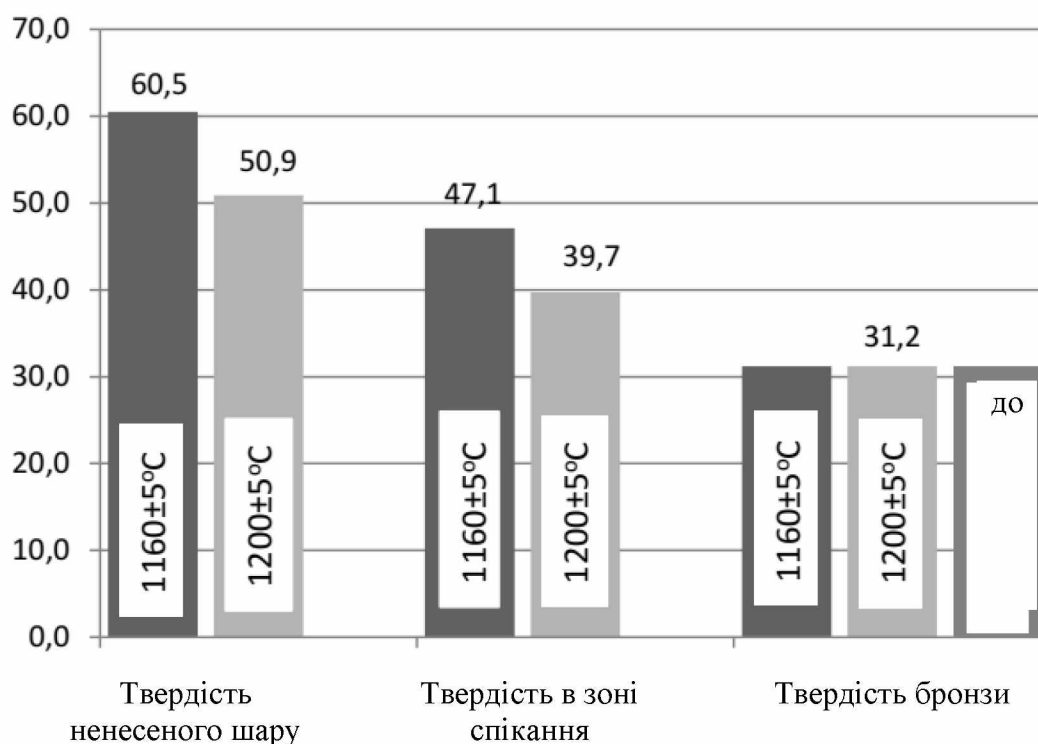


Рисунок 3.11 - Зміна твердості в залежності від температури напівання порошку ПР-Н80Х13С2Р

При цьому варто відзначити, що твердість бронзи після проведення напівання не змінилася. Це пояснюється використанням спеціального охолоджуваного електрода, запобігає структурним змінам бронзової втулки під час проведення обробки.

3.2.4. Визначення зносостійкості нанесеного шару

Для порівняння зносостійкості були взяті нові втулки, виготовлені з бронзи БрО5Ц5С5, а також втулки після проведення обтискання і напівання.

Напівання металевих порошоків відбувалося при наступних показниках: для порошку Н80Х13С2Р:

- температура напівання $1160 \pm 5^\circ\text{C}$;
- тиск електродів 20 МПа;
- час нанесення 70 с.

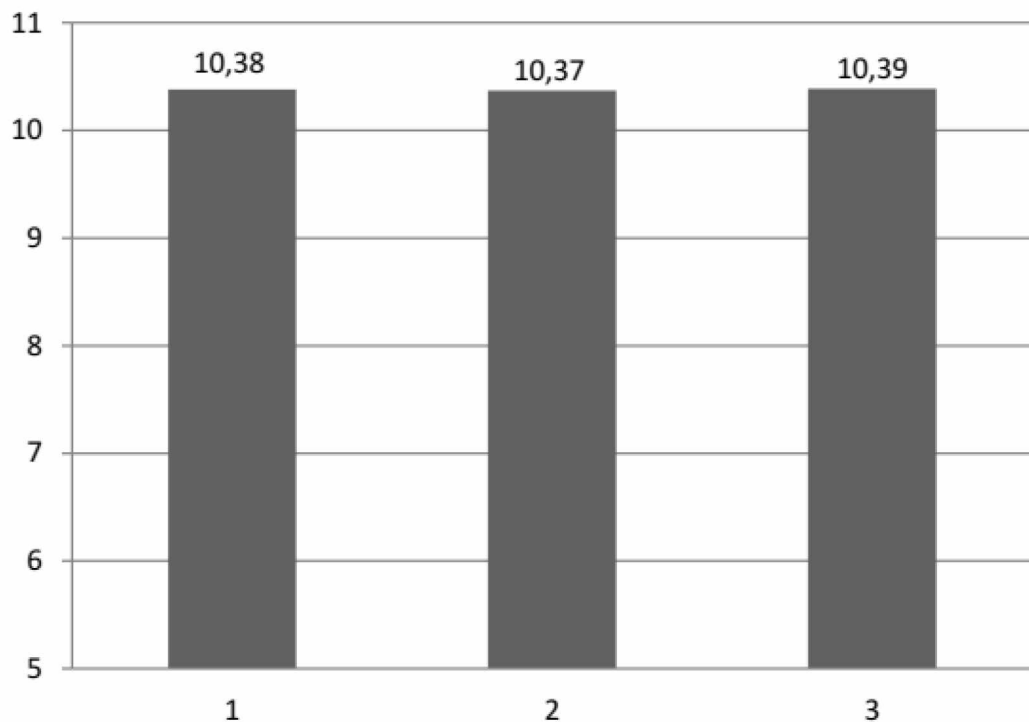
для порошку ПХ-30:

- температура напівання $1285 \pm 5^\circ\text{C}$;
- тиск електродів 25 МПа;
- час нанесення 250 с.

Після проведення напівання зразки оброблялися на токарному верстаті з частотою обертання 630 хв^{-1} , глибиною різання 0,25 мм і подачею 0,07 мм/об.

Для зменшення впливу температури під час обробки зразок охолоджувався.

За результатами проведених досліджень побудований графік, який представлений на рисунку 3.12.



1 - до обтиску; 2 - після напівання ПР-Н80Х13С2Р і механічної обробки; 3 - після напівання ПХ-30 і механічної обробки

Рисунок 3.12 - Знос відновлених втулок при частоті обертання зразків 500 хв^{-1}

В результаті проведеного експерименту встановлено, що різниця показань зношування при одній і тій же частоті обертання не перевищує 1% і

не залежить від марки порошку. Це пояснюється тим, що використання під час обробки охолоджуючого електрода перешкоджало структурним змінам в робочому шарі поверхні втулки на глибину до 3 мм, а незначні зони зміцнення, що виникли в результаті обтиску, були видалені під час розточування під номінальний розмір.

Висновки

1. У процесі обтискання тонкостінних бронзових втулок відбувається втрата їх стійкості при малих значеннях ступеня деформації. Значення кута обтискної матриці мало впливають на процес пластичної деформації втулок з олов'янистої бронзи. На вибір величини ступеня деформації бронзи при її об'ємному стисненні істотно впливає величина коефіцієнта тертя.

2. При стисненні бронзових втулок спостерігається пряма пропорційна залежність між змінами зовнішнього і внутрішнього діаметрів. Діаметр матриці визначається як різниця між зовнішнім діаметром втулки до обтиску і сумою величини зношування внутрішньої поверхні бронзової втулки і припуском на механічну обробку для отримання номінального розміру внутрішнього діаметра втулки.

3. В результаті проведених досліджень встановлено, що найбільш оптимальні показники мають втулки, відновлені при наступних режимах для порошку H80X13C2P: температура напікання $1160 \pm 5^{\circ}\text{C}$; тиск електродів 20 МПа; час напікання 70 с. Встановлено, що показники зносостійкості робочої поверхні втулки не залежить від марки порошку, що пояснюється відсутністю температурного впливу під час напікання.

РОЗДІЛ 4

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБОК

4.1. Екологічна експертиза розробок

Екологічна паспортизація ремонтно-обслуговуючих підприємств є одним з ефективних перспективних засобів охорони навколишнього природного середовища. Екологічний паспорт підприємства належить до його основної проектно-технічної документації. Поряд з технологічним регламентом він повинний бути на кожному підприємстві. У цьому документі наведені дані, що характеризують взаємовідносини підприємства з довкіллям.

У першій частині паспорта наводяться загальні відомості про виробництво: назва підприємства та продукції, що виробляється, район розташування, його потужність, займана площа, кількість працюючих та основні витратні величини споживаної сировини, води, енергії, палива, пари, повітря тощо, а також відомості про споживану сировину, джерела водо- і теплопостачання, короткий опис технологічних схем виробництва основної продукції, технології очищення газо- димових викидів в атмосферне повітря та стічних вод, оборотність, зберігання, транспортування та вилучення твердих відходів (назва, кількість, хімічний склад та деякі основні властивості, технологія відновлення або виготовлення), утримання приміщень і споруд, плани дій в аварійних умовах, небезпечні матеріали, відомості про кращі альтернативні технології, що застосовуються на інших підприємствах країни чи світової практики і завдають меншої шкоди довкіллю.

Характеризується також санітарно-захисна зона підприємства (площа зони, прилеглі об'єкти, її оформлення).

У другій частині паспорта відображені заплановані природоохоронні заходи із зазначенням конкретних термінів, виконавців, обсягів і витрат,

питомих і загальних газо- димових викидів в атмосферне повітря і скидів стічних вод та відходів виробництва до і після впровадження кожного заходу.

Екологічні паспорти дають змогу зробити аналіз екологічного середовища в регіоні, порівняти техніко- і еколого-економічні дані з даними інших підприємств, що характеризуються природоохоронними заходами.

Одночасно можна оцінити й ефективність застосованої технології, повноту використання матеріалів й палива, ефективність технології очищення стічних вод і газодимових викидів.

Можна також зробити еколого-економічну оцінку збитків взагалі і завданих природі зокрема, ефективність використання палива та енергії.

Оскільки об'єкти підприємства є джерелами забруднення атмосфери і навколишнього середовища, то проводять аналіз забезпеченості технічними засобами контролю за станом навколишнього середовища, викидами забруднюючих речовин в атмосферу і дають оцінку виконання екологічних заходів, приводять дані про використання і охорону земельних і водних ресурсів, описують методи контролю за шкідливими викидами, заходи щодо їх зменшення.

Проведений аналіз дозволяє розробити рекомендації по забезпеченню екологічної стійкості підприємства, а також план ліквідації аварійних ситуацій і витоків нафтопродуктів, в який включають об'єкти і території, що підлягають особливому захисту від забруднень (водозабори, житлові масиви, зони відпочинку).

Повинна бути встановлена (обґрунтована) категорія екологічної небезпеки об'єкту. Для цього встановлюють структуру викидів і скидань забруднюючих речовин при експлуатації технологічного устаткування. На підставі екологічного аналізу джерел викидів роблять розрахунок «пріоритетного» викиду шкідливих речовин.

Залежно від категорії небезпеки вводиться періодичність звітності в системі держобліку викидів забруднюючих речовин в атмосферу.

Найбільша ефективність в захисті повітряного середовища від забруднюючих викидів досягається при поєднанні заходів щодо вдосконалення технологічних процесів, газоочистки, забезпечення загальних санітарно-гігієнічних вимог і правильних об'ємно-планувальних рішень.

Екологічні порушення (злочини) караються відповідно до вимог Кримінального кодексу України. Вимоги закону передбачають встановлення чіткого причинного зв'язку між зробленим порушенням і погіршенням навколишнього середовища.

До екологічних злочинів відносять: забруднення навколишнього природного середовища (води, повітря, ґрунту); порушення правил обороту небезпечних матеріалів і відходів.

Забруднення, виснаження поверхневих чи підземних вод, джерел питної води або зміна її природних властивостей можуть завдати шкоди сільському господарству. Оцінка завданого збитку здійснюється з урахуванням реальної вартості затрат на відновлювальні роботи та ліквідацію наслідків.

Порушення правил викиду забруднювальних речовин в атмосферу, експлуатації очисних споруд чи інших об'єктів спричиняють забруднення або зміну природних властивостей повітря, що може завдати істотної шкоди здоров'ю людини.

Шкідливий плив на ґрунти чинить забруднення їх відходами господарської діяльності, що може бути небезпечним для здоров'я людей, забруднювати сільськогосподарську продукцію і водойми.

Порушення правил охорони навколишнього середовища полягає у використанні непередбачених правилами методик, відмови від виконання відповідних робіт або в бездіяльності при необхідних обов'язках. Це може бути, зокрема, ігнорування інформації, відмова від проведення екологічної експертизи та будівництва очисних споруд, порушення правил будівництва, експлуатації і ліквідації побудованих споруд тощо.

Виконання системоутворювальних функцій екологічної політики, визначення екологічних цілей і завдань, розроблення та реалізація екологічної програми здійснюється за допомогою екологічної експертизи. Екологічна експертиза – це науково-практична діяльність спеціально уповноважених державних органів, еколога-експертних формувань та об'єднань громадян, що ґрунтується на міжгалузевому екологічному дослідженні, аналізі та оцінці передпроектних, проектних та інших матеріалів чи об'єктів, дія яких впливає або може негативно впливати на стан довкілля та здоров'я людей.

Основними завданнями екологічної експертизи є визначення ступеня екологічного ризику й безпеки суб'єкта господарської діяльності; встановлення відповідності вимогам екологічного законодавства; оцінка впливу різних об'єктів на довкілля, здоров'я людей та можливих негативних екологічних наслідків.

Основними принципами екологічної експертизи є:

- гарантування безпечного життя довкілля;
- наукова обґрунтованість життя довкілля;
- державне регулювання та законність.

Державну екологічну експертизу об'єктів загальнодержавного і міжобласного значення проводить управління екологічної системи Мінекоресурсів України, об'єктів місцевого значення – відділи екологічної експертизи обласних управлінь екологічної безпеки.

Законом «Про екологічну експертизу», прийнятим Верховною Радою України у 1995 р., передбачено державне регулювання і управління в галузі екологічної експертизи, статус експерта, обов'язки замовників експертизи, порядок проведення експертизи, її фінансування, відповідальність за порушення та міжнародне співробітництво.

Висновки громадської експертизи направляють в органи, що здійснюють державну екологічну експертизу, центральні й місцеві влади, замовникам проекту.

4.2. Охорона праці

Охорона праці включає техніку безпеки, що запобігає травматизму, і виробничій санітарії, перешкоджає виникненню захворювань із-за дії шкідливих чинників. Впровадження раціонального комплексу заходів, направлених на поліпшення умов праці, може забезпечити приріст її продуктивності на 15...20%. Структура комплексу заходів наступна.

1. Аналіз стану охорони праці або безпеки технологічного процесу на підприємстві.

2. Розробка організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних заходів щодо поліпшення стану охорони праці.

3. Розробка вимог (інструкцій) з охорони праці при роботі на технологічному (модернізованому) обладнанні або при використанні запропонованого пристосування.

4. Аналіз і оцінка пожежної безпеки підприємства, організація пожежної профілактики (визначення категорії виробництва по пожежній небезпеці, ступені вогнестійкості будівельних конструкцій, обґрунтування первинних засобів і витрати води для гасіння пожежі).

Аналіз стану охорони праці. Його проводять так, щоб можна було визначити передумови для розробки заходів щодо зниження травматизму і поліпшення умов праці.

При аналізі стану охорони праці при організації і технології ремонтно-обслуговуючих робіт враховують наступне:

- дотримання законодавства про режим праці і відпочинку працюючих;
- відповідність організації забезпечення охорони праці вимогам нормативних документів;
- планування заходів щодо охорони праці, виділення і використання грошових і матеріальних коштів на їх виконання;

- відповідність будівлі ремонтно-обслуговуючого підприємства (приміщення виробничої ділянки) вимогам санітарних і будівельних норм і правил;

- можливість появи шкідливих і небезпечних виробничих чинників, основні причини виробничих травм;

- дотримання вимог безпеки при використанні обладнання, вантажопідійомних машин і судин, що працюють під тиском;

- динаміку травматизму і захворюваності;

- санітарно-побутові умови працівників;

- пожежну безпеку (характеристика технологічних процесів пожежній небезпеці, наявність і готовність первинних і технічних засобів пожежогасіння, дотримання вимог пожежної безпеки, наявність і стан грозозахисних пристроїв і т. п.).

Розробка заходів щодо поліпшення стану охорони праці. Заходи щодо поліпшення стану охорони праці або безпеки технологічних процесів розробляють на основі аналізу. Вони повинні бути конкретними.

Заходами передбачають:

- поліпшення діяльності адміністрації (наймача) з дотримання трудового законодавства і виконання вимог нормативної документації з охорони праці;

- вдосконалення системи навчання працівників охорони праці відповідно до нормативних документів;

- поліпшення контролю і нагляду за дотриманням вимог охорони праці;

- застосування засобів наочної агітації з безпеки праці, поліпшення планування з охорони праці;

- заміну небезпечних технологічних процесів безпечними;

- розробку пристроїв, що забезпечують безпечну експлуатацію технологічного обладнання і систем, забезпечення електробезпеки;

- створення нормального повітряного середовища за рахунок вентиляції і опалювання;

- забезпечення гігієнічних вимог до природного і штучного освітлення;
- зниження рівнів шуму і вібрацій на робочих місцях;
- забезпечення пожежної безпеки;
- створення необхідних санітарно-побутових умов для працівників підприємства.

Для розробки вимог безпеки (інструкції) з охорони праці при експлуатації існуючого, проектного або модернізованого устаткування (приспосовування) необхідно спочатку охарактеризувати можливі небезпечні і шкідливі виробничі чинники, які можуть виникнути під час роботи, небезпечні зони, а потім описати методи їх ліквідації. Необхідно також обґрунтувати вимоги до персоналу, який експлуатуватиме обладнання.

Для забезпечення безпечної експлуатації і обслуговування проектного устаткування передбачають захисні засоби, блокуючі і гальмівні пристрої, засоби сигналізації, захист від враження електричним струмом і ін. Робоче місце оператора організують з урахуванням вимог ергономіки.

Крім того, при необхідності обґрунтовують санітарно-гігієнічні умови праці на проектованому обладнанні, передбачають заходи і засоби пожежної безпеки, розробляють інструкцію з техніки безпеки.

Визначення кількості шкідливих виділень у виробничих приміщеннях. Деякі технологічні процеси, що виконуються на ремонтно-обслуговуючих підприємствах, характеризуються виділенням різних забруднень. Тому при проектуванні підприємств в приміщеннях передбачають природну, механічну або змішану вентиляцію. Вентиляційні системи повинні забезпечувати відносну вологість повітря, концентрацію в нім газів, шкідливих виділень в межах, що не перевищують допустимі норми. Якщо виділення забруднень відбувається на окремому технологічному обладнанні (на столі для зварювальних робіт, в наплавлювальній установці, гальванічній ванні і т.д.), влаштовують місцеву вентиляцію у вигляді парасольок, відкосів і т.п. При

розсіяному виділенні забруднень в приміщенні передбачають загальнообмінну вентиляцію.

4.3. Техніко-економічне обґрунтування досліджень

При відновленні зношених деталей машин сільськогосподарської та автотракторної техніки спочатку необхідно оцінити економічні показники (ефективність) процесу відновлення виробів. Собівартість ремонту і відновлення виробів зазвичай становить близько 15...40% вартості нових виробів [24].

При виборі методу приймаємо за основу економічну доцільність, враховуємо наявність необхідних ремонтних матеріалів і обладнання, технологічні і конструктивні особливості виробу, величину і характер зношування, а також ряд інших важливих чинників.

Техніко-економічна оцінка проведена у відповідності з рекомендаціями щодо визначення економічної ефективності підвищення довговічності сільськогосподарських машин [24].

Річний економічний ефект від впровадження розробленої технології визначали за формулою:

$$E = [(c_1 + E_n k_1) - (c_2 + E_n k_2)] B_r, \quad (4.1)$$

де c_1 і c_2 – собівартість нової та відновленої деталі;

$E_n = 0,15$ – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень [25];

B_r – річний обсяг відновлених деталей за розробленою технологією, шт.

Затрати C_y на виготовлення установки для відновлення втулок визначали за такою залежністю:

$$C_y = C_k + C_{од} + C_{нд} + C_{сб} + C_{зв}, \quad (4.2)$$

де C_k – вартість виготовлення корпусних деталей, грн.;

$C_{од}$ – витрати на виготовлення оригінальних деталей, грн.;

C_{nd} – ціна великих покупних деталей і вузлів, грн.;

$C_{сб}$ – заробітна плата виробничих робітників, зайнятих на складанні конструкції, грн.;

C_{on} – загальновиробничі накладні витрати на виготовлення конструкції, грн.

Розраховані за вказаною формулою витрати склали 164050 грн.

Питомі капіталовкладення визначали по залежностях [25]:

$$\kappa_1 = \frac{C_{O1}}{B_{Г1}}; \quad \kappa_2 = \frac{C_{O2}}{B_{Г2}}, \quad (4.3)$$

де C_{O1} і C_{O2} – вартість основних виробничих фондів за діючої технології виготовлення і розробленої технології;

$B_{Г1}$ і $B_{Г2}$ – річна програма виготовлення та відновлення за розробленою технологією.

Питомі капіталовкладення склали $\kappa_1 = 20,25$ грн.; $\kappa_2 = 15,60$ грн.

Собівартість відновлення C вулок визначали по наступній формулі:

$$C = C_{з.п.} + C_m + C_{р.ф.} + C_{н.р.} + C_{i.в.}, \quad (4.4)$$

де $C_{з.п.}$ – заробітна плата виробничих робітників, зайнятих в процесі відновлення, грн.;

C_m – витрати на використанні при відновленні матеріали, грн.;

$C_{р.ф.}$ – вартість ремонтного фонду з урахування витрат на придбання обладнання, грн.;

$C_{н.р.}$ – накладні витрати, грн.;

$C_{i.в.}$ – інші витрати, грн.

Середня собівартість однієї нової деталі складає $C_1 = 250$ грн., а відновленої $C_2 = 134$ грн.

Економічний ефект від впровадження розробленої технології складе:

$$E = [(250 + 0,15 \cdot 20,25) - (134 + 0,15 \cdot 1,17)15,6] \cdot 1000 = 131747 \text{ грн.},$$

де 1000 – річний обсяг відновлення деталей.

Економічний ефект на одиницю продукції в середньому становить 116 грн.

Основні показники техніко-економічної ефективності відновлення бронзових втулок наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 - Показники техніко-економічної ефективності

Показники економічної ефективності	Значення показників	
	Існуюча технологія	Запропонована технологія
1. Річний обсяг виготовлення і відновлення втулок, грн.	1000	1000
2. Капіталовкладення, грн		164050
3. Собівартість однієї деталі (середня), грн.	250	134
4. Питомі капітальні вкладення, грн.	20,25	15,6
5. Річний економічний ефект, грн.		131747
6. Економічний ефект на одиницю продукції, грн.		134

Висновки

Економічний ефект від впровадження розробленої технології склав 131747 грн. при річному обсязі впровадження 1000 деталей.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Теоретичні та експериментальні дослідження довели можливість обтиску бронзових втулок, виготовлених з Бр.О5Ц5С5, без втрати стійкості.

2. При стисненні бронзових втулок спостерігається пряма пропорційна залежність між змінами зовнішнього і внутрішнього діаметрів. Діаметр матриці визначається як різниця між зовнішнім діаметром втулки до обтиску і сумою величини зношування внутрішньої поверхні бронзової втулки і припуском на механічну обробку для отримання номінального розміру внутрішнього діаметра втулки.

3. В результаті проведених досліджень встановлено, що найбільш оптимальні показники мають втулки, відновлені при наступних режимах для порошку Н80Х13С2Р: температура напівання $1160 \pm 5^{\circ}\text{C}$; тиск електродів 20 МПа; час напівання 70 с. Встановлено, що показники зносостійкості робочої поверхні втулки не залежить від марки порошку, що пояснюється відсутністю температурного впливу під час напівання.

4. Економічний ефект від впровадження розробленої технології склав 131747 грн. при річному обсязі впровадження 1000 деталей.