

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ



ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА ТА ТРАНСПОРТУ



КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему:

«Формування властивостей одно - та багатошарових покриттів
при відновленні деталей автомобілів електроконтактним
наварюванням у КАТП «Агробудавтосервіс м. Кропивницький»

Виконав:

магістрант групи АТ-21М(1,4) Володимир КУЛІШ
(шифр групи) (підпис) (ім'я та прізвище)

Консультант:

канд. техн. наук, доцент Олег БЕВЗ
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник:

канд. техн. наук, доцент Сергій МАРКОВИЧ
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

«ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри:

канд. техн. наук, доцент Сергій МАГОПЕЦЬ
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 2022р.

Рецензент:

_____, _____
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 2022 р.

Кропивницький – 2022 р.

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА ТА ТРАНСПОРТУ
КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»

Рівень вищої освіти: другий (магістерський) рівень вищої освіти

Галузь знань: 27 «Транспорт»

Спеціальність: 274 «Автомобільний транспорт»

Освітньо-професійна програма: «Автомобільний транспорт»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри «Експлуатація та ремонт машин»

_____ Сергій МАГОПЕЦЬ

«__» _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ
Куліша Володимира Олександровича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи «Формування властивостей одно - та багатошарових покриттів при відновленні деталей автомобілів електроконтактним наварюванням у КАТП «Агробудавтосервіс» м. Кропивницький»

керівник роботи: Маркович Сергій Іванович, канд. техн. наук, доцент

(прізвище, ім'я, по батькові)

(науковий ступінь)

(вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «__» _____ 2022 року №__

2. Строк подання здобувачем роботи «__» _____ 2022 р

3. Вихідні дані до роботи: дані наукової та науково – дослідної практик, технологічні карти ремонту та відновлення цапф балок автомобілів в КАТП «Агробудавтосервіс»; Багатофункціональні електродугові покриття : монографія / М. М. Студент, Г. В. Похмурська, В. М. Гвоздецький [та ін.]. - Львів : Простір-М, 2018. - 335 с. Каракозов Э.С., Латыпов Р.А., Молчанов Б.А. Состояние и перспективы восстановления деталей электроконтактной приваркой материалов. - М.: Информагротех, 1991. - 84 с.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ, реферат

4.1 Розділ 1. Обґрунтування напрямку наукових досліджень

4.2 Розділ 2. Аналіз об'єкта досліджень

4.3 Розділ 3. Дослідження впливу зміни параметрів об'єкта

4.4 Розділ 4. Обґрунтування ефективності прийняття рішень

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

1. Назва роботи, ціль роботи, предмет та об'єкт досліджень, задачі, наукова новизна, практичне значення дослідження та публікації.

2. Ілюстративні матеріали що до обґрунтування напрямку наукових досліджень.

3. Ілюстративні матеріали що до аналізу об'єкта досліджень.

4. Ілюстративні матеріали що до дослідження впливу зміни параметрів об'єкта

5. Ілюстративні матеріали що до обґрунтування ефективності прийняття рішень

6. Висновки

ГРАФІК ВИКОНАННЯ ЕТАПІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<u>Вступ, реферат</u>	30.10. 2022р.	
2	<u>Розділ 1. Обґрунтування напрямку наукових досліджень</u>	02.11. 2022 р.	
3	<u>Розділ 2. Аналіз об'єкта досліджень</u>	05.11.2022 р.	
4	<u>Розділ 3. Дослідження впливу зміни параметрів об'єкта</u>	13.11.2022 р.	
5	<u>Розділ 4. Обґрунтування ефективності прийняття рішень</u>	28.11. 2022 р.	
6	Формування ілюстративних матеріалів	01.12. 2022 р.	

Магістрант _____ Куліш В.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Сергій МАРКОВИЧ
(підпис) (ім'я та прізвище)

РЕФЕРАТ

Метою магістерської роботи є розробка ефективного технологічного процесу відновлення важко навантажених деталей автомобілів з значним зношенням на основі дослідження впливу параметрів процесу електроконтактного наварювання на знеміцнення покриття.

Об'єктом дослідження: процес формування покриттів значної товщини на поверхнях, що піддаються циклічним навантаженням.

Предмет дослідження: – залежності, технології та методики формування покриттів значної товщини.

Наукова новизна. Отримано залежності величини зон локального знеміцнення від параметрів технологічного процесу електроконтактного наварювання

В першому розділі проведено дослідження кон'юнктури ринку в умовах сьогодення та особисті запити підприємства, що до потреб в відновленні важко навантажених деталей, що піддаються циклічним навантаженням. При цьому встановлено що найбільш актуальною є проблема відновлення цапф балок автомобілів. В зв'язку з значним рівнем зношування необхідно застосувати багат шарове електроконтактне наварювання дрововими матеріалами. Але цей метод не забезпечує належної зносостійкості покриття через наявність зон знеміцнення.

В другому розділі теоретично розраховано вплив параметрів процесу електроконтактного наварювання на знеміцнення покриття та визначено методику проведення дослідження.

В третьому розділі розроблено технологію відновлення цапф балок нанесенням композиційного покриття та проведено експериментальні порівняльні дослідження зносостійкості та втомної міцності покриттів.

В четвертому розділі обґрунтовано нанесення багат шарових композиційних покриттів.

Кваліфікаційна магістерська робота складається з вступу, 4 розділів, висновків; містить 61 сторінок тексту, 34 рисунків, 4 таблиці.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	4
ЗМІСТ	5
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	7
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМКУ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	9
1.1. Визначення номенклатури деталей автомобілів, придатних для відновлення електроконтактним наварюванням	9
1.2 Вибір матеріалів для відновлення	10
1.3. Вибір технологічної схеми для відновлення	12
1.4. Формування завдань та актуальність теми магістерської роботи	16
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕНЬ	18
2.1. Розрахунок впливу параметрів на зони локального знеміцнення	18
2.2. Розрахунок впливу ширини електрода на дефектність ЕКН	28
2.3. Методика проведення дослідження	31
2.3.1. Обладнання, матеріали та технологічні параметри нанесення покриття ЕКН	31
2.3.2. Методика отримання багатошарового композиційного покриття	32
2.3.3. Методика дослідження межі витривалості відновлених деталей	37
2.3.4. Методика дослідження зносостійкості відновлених поверхонь	40
2.4. Дотримання норм техніки безпеки при проведенні дослідження	
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТА	47
3.1. Порівняльне дослідження зносостійкості зразків	47
3.1.1. Зносостійкість та вплив питомого навантаження на зміну коефіцієнта тертя при граничному терті	47

3.1.2. Дослідження покриттів на абразивну зносостійкість	49
3.2. Дослідження втомної міцності зразків	52
РОЗДІЛ 4. ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ	54
4.1. Технологічні рекомендації, що до застосування результатів дослідження при відновленні цапф балок автомобілів	54
ВИСНОВКИ	56
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	57

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЕКН - електроконтактне наварювання

СД – суцільнотягнутий дріт

ПД - порошковий дріт

ЕДН – електродугове напилення

ЗТВ – зона термічного впливу

ВСТУП

При проведенні науково-дослідної практики в КАТП «Агробудавтосервіс» було встановлено, що однією з проблем при проведенні ремонтних робіт є відновлення цапф балок автомобілів. Опорні шийки цапф мають значне спрацювання, а сама цапфа піддається в процесі експлуатації дії циклічних навантажень. Технології відновлення таких деталей не повинні знижувати втомної міцності.

В магістерській роботі розроблено теоретичні та практичні рекомендації що до визначення технологічних параметрів електроконтактного наварювання багат шарових покриттів, завдяки котрим знижується вплив локального знеміцнення.

Удосконалено технологічний процес відновлення цапф балок автомобілів нанесенням багат шарових покриттів з застосуванням розроблених технологічних параметрів.

Створена технологія нанесення багат шарових композиційних покриттів як дозволяють відновлювати важко навантажені деталі з значним рівнем знощування, що піддаються циклічним навантаженням. При цьому основний шар наноситься електроконтактним наварюванням, а зносостійкий шар електродуговим напиленням зносостійкими матеріалами.

Матеріали дослідження опубліковано в тезах міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції "Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту" "Innovative technologies for the development and efficiency of road transport" Центральноукраїнський національний технічний університет 17-19 листопада 2022 року

Теми публікацій: «Дослідження процесу та технологія нанесення багат шарових композиційних покриттів для відновлювання важко навантажених деталей автомобілів з значним рівнем знощування» та « Вплив технологічних методів підготовки поверхні основи на адгезійні властивості електродугових покриттів при відновленні деталей автомобілів»

РОЗДІЛ 1

ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМКУ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Визначення номенклатури деталей автомобілів, придатних для відновлення електроконтактним наварюванням

Одним з важливих резервів підвищення ефективності використання різних машин та механізмів є відновлення зношених деталей. При цьому при проведенні наукової та науково-дослідної практики встановлено, що основну частину відновлюваних деталей машин із зношеними посадковими і опорними шийками становлять різні вали та осі, котрі в процесі експлуатації піддаються дії циклічних навантажень. Відповідно, при будь яких технологіях відновлення таких деталей не повинна знижуватись втомна міцність.

Відома значна кількість технологій відновлення гладких і ступінчастих валів: електролітичні покриття; напилення; різні види дугового наплавлення; електроконтактне наварювання дротом та стрічкою.

При застосуванні різних видів дугового наплавлення без подальшої термічної обробки втомна міцність знижується на 20 - 40% і більше [40,39,22,41]. Причому, зниження втомної міцності є структурна неоднорідність металу, що наплавляється та утворення залишкових розтягуючих напруг [33,51,35,34].

Перспективною технологією відновлення такого типу деталей є електроконтактне наварювання дротом (ЕКН), котре набуло значного розвитку завдяки розробкам вчених Ю.В. Клименка, Е.С. Каракозова, О.В. Поляченка, М.З. Нафікова, В.А. Дубровського, М.М., Фархшатова та ін.

Суть способу - нагрів присадного матеріалу і приконтактного об'єму металу деталі короткими імпульсами електричного струму та одночасна пластична деформація, що забезпечує утворення фізичного контакту та об'ємну взаємодію покриття і матеріалу деталі.

Переваги ЕКН: незначний термічний вплив на деталь; висока продуктивність процесу; можливість формування багат шарових покриттів; відсутність вигоряння легуючих елементів; мінімальний припуск на

механічну обробку; малий вплив на екологію; універсальність способів та матеріалів [14, 53, 74, 124].

Недоліками ЕКН є: значне спрацювання поверхні ролика-електроду, а також значна залежність міцності зчеплення покриття з основою від технологічних режимів процесу та утворення міжвиткових зон знеміцнення.

Іншим недоліком ЕКПП є невелика товщина одержуваного металопокриття (до 0,3 мм). Використання дротів більшого діаметра, викликає зниження міцності зчеплення.

Вказані недоліки ускладнюють процес відновлення цапф балок автомобілів, тому необхідно розробити методика визначення впливу технологічних параметрів на величину зон знеміцнення та оптимальну технологію нанесення багат шарового композиційного покриття.

1.2. Вибір матеріалів для відновлення

ЕКН різноманітними струмопровідними дровими матеріалами дозволяє наварювати шари навареного металу від десятих доль до одного міліметра і більше. При наварюванні, як правило використовуються широко поширені загальнодоступні дроти різного діаметру і матеріалу, такі, котрі дозволяють отримувати високо тверді покриття, що задовольняють вимогам поверхонь кочення (наприклад, високо вуглецева із сталі марки 65Г) [3].

Як присадкових матеріалів при ЕКН застосовуються як порошкові матеріали, так і компактні матеріали (суцільні металеві стрічки і дроти, порошкові стрічки і дроти).

По ряду об'єктивних та суб'єктивних причин ЕКП дроту для відновлення зношених деталей типу «вал» застосовується рідше, ніж сталева стрічка або металевий порошок. Це зумовлено насамперед недосконалістю технології відновлення.

ЕКН з застосуванням сталеві стрічки. Металева стрічка використовується, як правило, для відновлення деталей типу тіл обертання (вали, осі, ролики та інше). Наварений шар покриття формується в результаті

з'єднання сталеві стрічки з поверхнею деталі. Його товщина практично рівна товщині сталеві стрічки, за вирахуванням рівня товщини термічного усадження дроту. Стрічки майже всіх марок сталі при наварюванні значно зміцнюються (спостерігали навіть зміцнення шару, наплавленого стрічкою сталі 08). Отримувана твердість пропорційна вмісту вуглецю в сталі. Разом з тим надлишок вуглецю та наявність легуючих елементів можуть спровокувати на поверхні покриття появу тріщин різного характеру.

ЕКН зварювальним дротом. ЕКН дротом здійснюють на установці згідно схеми, що зображена на малюнку (рис.2.1.). Процес відбувається завдяки сумісній деформації наплавлюваного дроту і поверхневого шару деталі, котрі нагріваються в зоні деформації до пластичного стану короткими (0,02–0,04 с) імпульсами струму 10–20 кА.

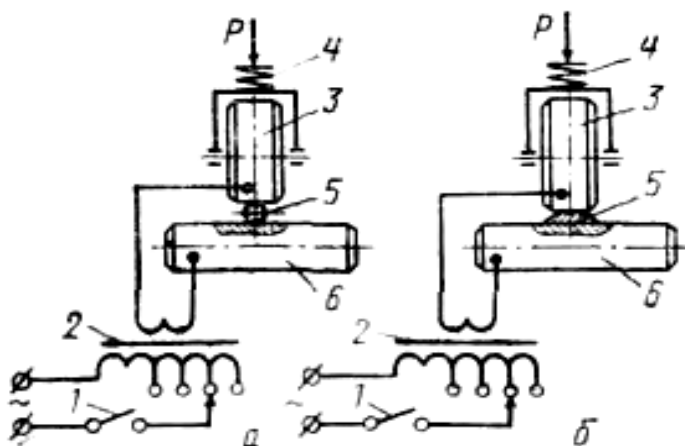


Рисунок 2.1 - Схема функціонування установки електроконтактного наварювання: а – початковий стан; б – кінцевий стан; 1 – переривник струму; 2 – трансформатор; 3 – наплавляючий ролик, 4 – амортизатор; 5 – присадний дріт; 6 – зразок

ЕДН відбувається в результаті дії послідовних електромеханічних циклів процесу, при цьому на поверхні металу основи утворюється одиничний майданчик наплавленого металу, що перекриває сусідні. Деформація металу, що наплавляється, за один цикл складає 40 – 60%. Наявність пластичної деформації присадного матеріалу дає можливість підвищити міцність зчеплення покриття з основою [7].

що довжина контакту поперечного перетину одиничного майданчика другого витка та контакту з попереднім навареним валиком не перевершує довжини контакту того ж перетину першого валика з поверхнею відновлюваної деталі.

Основна технологічна схема наплавлення проста, надійна і може вважатися оптимальною для великої групи виробів.

При наплавленні по даній технологічній схемі розміри зовнішнього контура змінюються відповідно переміщенню наплавляючого ролика, тому значення струму на початку і в кінці ділянки, що наплавляється, різні. У зв'язку з цим змінюються в деяких межах міцність на відрив, втомна міцність, твердість наплавленого металу.

Недоліком схеми є підвищений місцевий знос ролика, при його зачистці після наплавлення чергової ділянки віддаляється частина поверхні ролика, що не брала участь в роботі, тому переважно послідовне використання всієї контактної поверхні ролика.

Основна технологічна схема ЕКН проста і надійна, і не немає визначальних недоліків.

Двох західна технологічна схема. Суцільний шар металу утворюється по цій схемі послідовним наплавленням двох спіралевидних валиків із збільшеним кроком (рис.2.3.); на поверхні основного металу наплавляють спіралевидний валик із зазором між сусідніми витками.

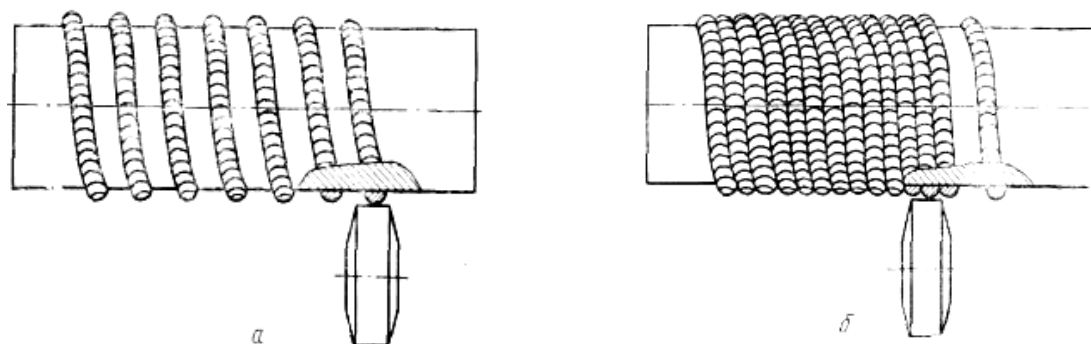


Рисунок 2. 3 - Двозахідна схема наварювання: а – наварювання валика першого заходу, б – наварювання валика другого заходу

Другий спіралевидний валик наплавляють в зазор між витками першого спіралевидного валика.

Валик в зазорі між наплавленими витками наплавляють при силі струму декілька більшою, ніж сила струму наплавлення першого валика, унаслідок необхідності нагріву поверхневого шару металу вже наплавлених сусідніх витків для з'єднання їх з наплавленим валиком.

Двозахідна схема наплавлення не вимагає змін установки, так само проста і надійна, як і основна технологічна схема.

Основна її гідність – можливість зменшити тепловиділення наплавленням спіралевидного валика із збільшеним кроком. Крім того, перед наплавленням другого валика деталь може бути охолоджена в необхідному режимі.

Менший термічний вплив на основний метал при наплавленні по дво західній технологічній схемі супроводжується зменшенням продуктивності [7].

Дво точкова технологічна схема. Дво точкова технологічна схема запропонована Клименко Ю. У. згідно авторського свідоцтва № 407678. – «Відкриття, винаходи, пром. зразки, товарні знаки», 1973 № 47, с. 37.

Основною відмінністю запропонованої автором технологічної схеми є спосіб включення деталі в ланцюг струму наплавлення і характер наплавлення одиничних майданчиків.

Струм в зону наплавлення підводиться через два наплавляючі ролики, що дозволяє виключити із зовнішнього контура контактний перехід «патрон – метал основи» і зменшити втрати потужності. Особливість цієї схеми також і в тому, що першим наплавлювальним роликом наплавляється спіралевидний валик, в якому сусідні одиничні майданчики не перекриваються, а другим роликом проплавляються пропуски, що утворилися (рис. 2.4). При цьому відбувається процес ЕКН на двох протилежних майданчиках металу з застосуванням одного імпульсу струму.

Суцільний шар металу, як і при наплавленні по перших двох схемах, утворюється за рахунок перекриття по ширині сусідніх витків спірального валика, що забезпечується відповідною швидкістю переміщення роликів щодо деталі, що обертається.

Дво точкова технологічна схема дозволяє підвищити продуктивність наплавлення на 70–80%.

Проте при наплавленні по цій схемі тепловиділення відбувається на невеликій ділянці металу основи. Тому дво точкову технологічну схему доцільно застосовувати для наплавлення масивних деталей, до яких не пред'являється жорстких вимог по допустимому термічному впливу, а вірогідність температурної деформації мала [7].

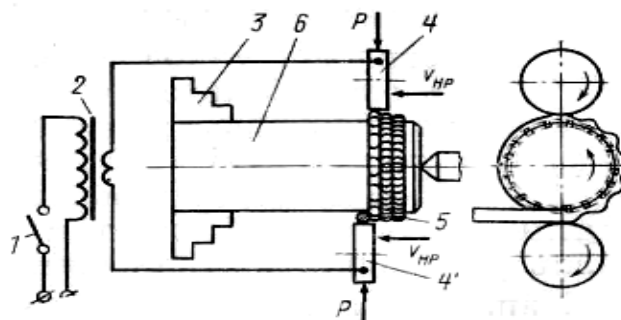


Рисунок 2.4 - Дво точкова схема наплавлення: 1 – переривник струму; 2 – трансформатор; 3 – кулачки патрона базового верстата; 4 і 4' – наплавляючі ролики; 5 – наплавлений метал; 6 – метал основи.

Схема електроконтактного наварювання у висаджену канавку запропонована Б. М. Аскиназі.

Одним з істотних недоліків всіх способів наплавлення є зниження втомної міцності наплавлених деталей унаслідок роззміцнення наплавленого металу в місці нахльостування спірального валиків. У цій зоні відбувається повторний відпал при накладенні чергового валика металу і зниження твердості металу. Тут спостерігається найбільша кількість дефектів металургійного походження.

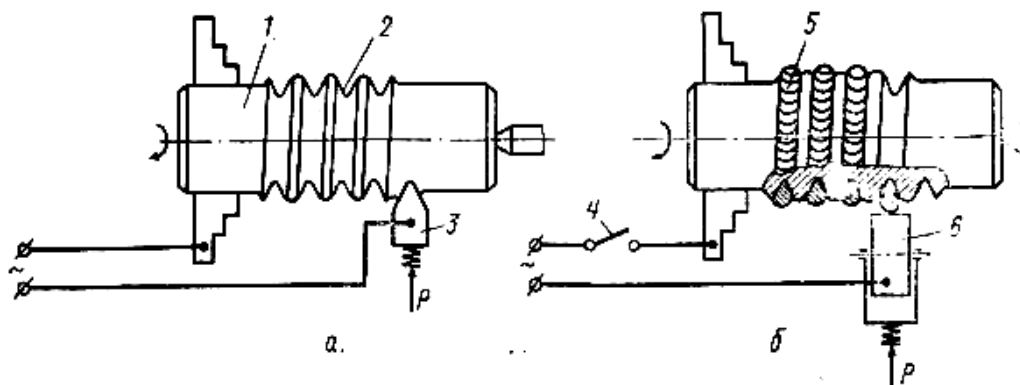


Рисунок 2.5 - Схема наплавлення у висаджену канавку: а – схема електромеханічної висадки; б – схема електроконтактного наварювання; 1 – деталь; 2 – висаджена канавка; 3 – висаджуюча пластина; 4 – переривник струму; 5 – наварений валик присадного металу; 6 – ролик

Таким чином, при наплавленні металу спіралевидними валиками, що перекриваються, зниження втомної міцності неминуче.

Відновлення розмірів зношеної деталі (наприклад, збільшення діаметру шийки валу) наплавленням без перекриття валиків виявилось можливим у поєднанні з іншим способом відновлення – електромеханічною висадкою.

Технологія відновлення передбачає попередню електромеханічну висадку спіральної канавки на поверхні зношеної шийки валу (рис.2.5,а) і подальше наплавлення додаткового металу в канавку (рис.2.5,б), що утворилася, способом електроконтактного наплавлення. При цьому валики присадного металу розділяються висадженим металом деталі.

При наплавленні висадженої канавки на зразку із сталі 45 діаметром 50 мм дротом із сталі 45 діаметром 1,8 мм оптимальними є наступний режим: сила струму наплавлення 11 кА; тиск на наплавляючий електрод 80 кгс; тривалість імпульсу 0,06 с; тривалість модуляції 0,04 с; тривалість пауз між імпульсами 0,24 с; число оборотів деталі 9 об/хв. Міцність з'єднання наплавленого валика з основою в цьому випадку складає 55–60 кгс/мм².

1.4. Формування завдань та актуальність теми магістерської роботи

При ЕКН оплавленням міцність з'єднання мало залежить від технологічних чинників і відповідає міцності одного з металів, що

сполучаються. Проте слід відзначити, що шар навареного металу після ЕКН характеризується наявністю зон відпуску в місцях перекриття валиків, що приводить до наявності структурної неоднорідності в навареному покритті (рис.2.6) [4], котра небажана при експлуатації деталей машин з поверхнями кочення та ковзання. На рис. 2.6. чітко спостерігається тенденція розподілу твердості покриття по зонах зміцнення II та знеміцнення I. Розташування цих зон характеризується чіткою послідовністю.

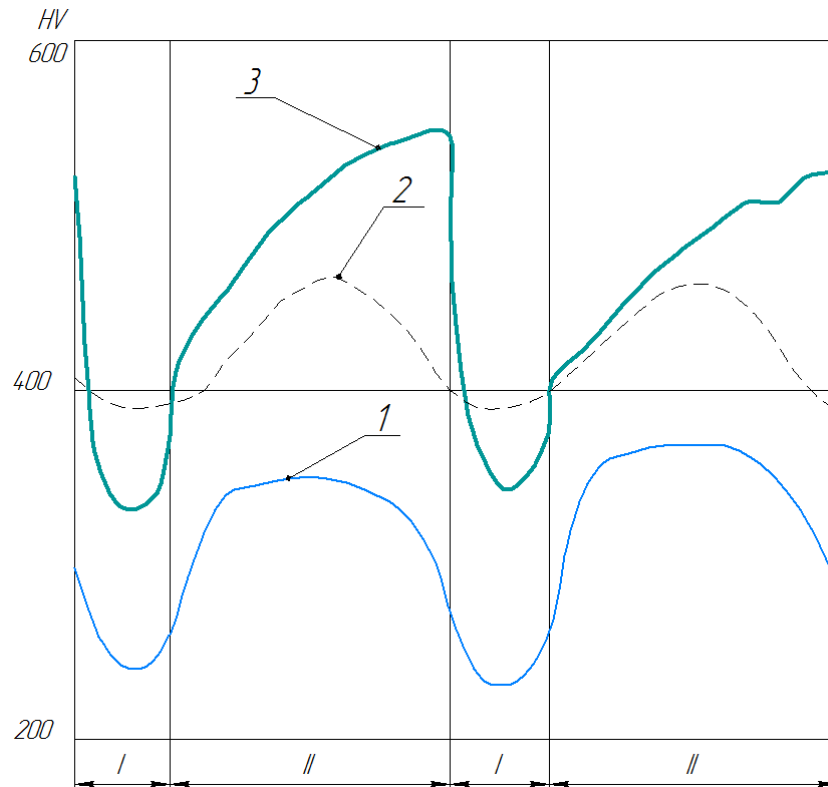


Рисунок 2.6 - Твердість навареного шару: 1 – сталь 20; 2 – 30ХГСА; 3 – 65Г (I – зона термічного впливу подальшого імпульсу струму на ділянку шару, наплавленого раніше; II – зона наплавленого шару без подальшої термічної дії).

Зміцнення відбувається в зонах навареного шару, котрі не піддаються термічній дії подальших імпульсів струму (див. рис.2.1, зона II). Площа цих зон складає 50–90% від загальної площі наплавленої поверхні. Решта частини наплавленого шару втрачає міцність при наварюванні суміжних

ділянок в результаті повторної термічної дії. Ступінь втрати міцності підвищується при збільшенні вмісту вуглецю в сталі і зниженні змісту легуючих елементів. Аналогічна картина відбувається і при наварюванні багат шарових покриттів, але при цьому додається ще й вплив температури від наварювання чергового шару покриття.

Вибір відповідного режиму наварення покриття забезпечує практично без пористий характер поверхні. Проте з підвищенням змісту вуглецю зростає вірогідність утворення в наплавленому шарі сітки тріщин. Тому електроконтактне наварювання сталеву стрічкою найдоцільніше застосовувати для відновлення і зміцнення деталей, що мають великий запас втомної міцності [2].

Застосування даної технології не дає можливості наварювати покриття значної товщини та має низькі параметри адгезії. Збільшити товщину покриття в даному випадку не можливо. Тому для відновлення деталей з значним зношенням доцільно застосовувати ЕКН зварювальним дротом, в тому числі багат шарове. Перспективним напрямком є застосування композиційних багат шарових покриттів з різними властивостями шарів.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Розрахунок впливу параметрів на зони локального знеміцнення.

Для отримання спрощеної моделі були зроблені наступні допущення, які полегшують математичний опис електро теплових процесів при ЕКН, але не спотворюють їх фізичної суті:

- більша частина тепла відводиться в тіло деталі дякуючи умовам охолодження;
- характеристики матеріалів відповідають середній температурі нагріву і не мають залежності від температури.
- зона контакту між електродом і присадним матеріалом є ізотермічною та еквіпотенціальною.

Для приведених допущень з теорії електричних контактів відомо, що для еліптичної плями контакту еквіпотенціальні поверхні в напів нескінченному тілі мають форму еліпсоїдів, що описуються рівнянням [23]:

$$\frac{x^2}{a^2 + \mu} + \frac{y^2}{b^2 + \mu} + \frac{z^2}{\mu} = 1, (2.1)$$

де — μ деякий параметр; осі еліпса співпадають з напрямом осей x і y .

Розрахунки термічного циклу, проведені методом кінцевих елементів, показали, що швидкість нагріву в умовах ЕКН досягає 6000 °C/с і більш. При таких швидкостях нагріву вуглецевих сталей температура початку аустенітного перетворення T_{Ac1} підвищується до 1100 К. Також зрушуються в область підвищених значень (до 673 К) і температурний інтервал карбідного перетворення при відпуску [6], що супроводжується зниженням твердості загартованого металу. Таким чином, можна вважати, що в умовах процесу ЕКН знеміцненню піддаються об'єми металу, розташовані між ізотермами 673 і 1100 К. Звідси слідує, що ізотерма 673 К обмежує зону термічного впливу і визначає її максимальну глибину, а ізотерма 1100 К охоплює зону гарту. Оскільки

ізотермічні поверхні співпадають з екіпотенціальними і вдають із себе еліпсоїди, то глибина зони гарту від дії одиничного імпульсу струму визначається відстанню від центру контактної майданчика до точки перетину ізотерми 1100 К з віссю z . Ширина зон відпуску на поверхні напів нескінченного тіла визначається відстанню між ізотермами 673 і 1100 К. Для визначення аналітичних залежностей характеристик поверхневої твердості при електроконтактному наварюванні необхідно отримати аналітичні залежності, що дозволяють описати температурне поле.

У роботі [7], присвяченій дослідженню процесів в електричних контактах, показано, що для умов, які відповідають допущенням, зробленим на початку параграфа, не стаціонарність теплового режиму однозначно визначається параметром τ , причому

$$\tau = \frac{\lambda \cdot t_u^2}{c\gamma \cdot r_k^2} \quad (2.2)$$

Відомо, що для умов ЕКН в більшості випадків $\tau < 2$ [6]. За допомогою інтерполяції Лагранжа результатів чисельних розрахунків після моделювання електро теплової обстановки для діапазону $\tau = 0,5-2$ були отримані наступні вирази:

$$\mu_1 = x_i^2 r_k^2; \quad (2.3)$$

$$x_i = -7,5\theta^3 + 15,44\theta^2 - 12,38\theta + 4,36; \quad (2.4)$$

$$\theta = \frac{T_i - T_0}{T_k(\tau) - T_0}; \quad (2.5)$$

$$T_k(\tau) = (-7,5 \cdot 10^{-2} \tau^4 + 0,43 \tau^3 - 0,92 \tau^2 + 1,06 \tau - 0,0173) \cdot (T_k^* - T_0) + T_0 \quad (2.6)$$

де μ_1 - параметр, постійний для кожної ізотерми; x_i, θ_i - допоміжні розрахункові параметри; T_i - температура шуканої ізотерми; T_0 - початкова температура деталі; $T_k(\tau)$, T_k^* поточна і умовна стала температури в зоні

контакту електрод-деталь.

Для розрахунку умовної сталої температури в зоні контакту T_k^* скористаємося залежністю між даною температурою і падінням напруги на контакті U [7]. Після перетворення дана залежність приймає вигляд:

$$T_k^* = \sqrt{\frac{U^2}{4L}} + T_0^2 \quad (2.7)$$

де L - константа закону Відемана — Франца - Лоренця ($L=2,4 \cdot 10^8 \text{ В}^2/\text{К}^2$).

Напруга на контакті зв'язана з силою струму наступним виразом [7]:

$$U = I \frac{\rho}{2 \cdot r_k} \quad (2.8)$$

Підстановка виразу (2.8) у формулу (2.7) перетворить її до вигляду:

$$T_k^* = \sqrt{\frac{I^2 \cdot \rho^2}{16 r_k^2 L}} + T_0^2 \quad (2.9)$$

Координати ізотерми з параметром μ можуть бути знайдені з рівняння еквіпотенціальних поверхонь. За умови, що зона контакту між електродом і напів нескінченним тілом є круглою плямою стягування, рівняння еквіпотенціалей в площині rz набуває вигляду:

$$\frac{r^2}{r_k^2 + \mu} + \frac{z^2}{\mu} + 1 \quad (2.10)$$

де r, z - радіальна і осьова координати.

Звідси

$$z = \sqrt{\left(1 - \frac{r^2}{r_k^2}\right) \cdot \mu_i}$$

Прийнявши $r = 0$, отримуємо вираз для розрахунку глибини залягання ізотерми 1100 К, відповідній глибині Z зони гарту (зміцнення) поверхневого шару після ЕКН:

$$Z = \sqrt{\mu_i} = X_{1100} \cdot r_k \quad (2.11)$$

Результати розрахунків глибини зони гарту по залежності (2.11) графічно представлені на рис.2. Вони указують на те, що із збільшенням сили струму і тривалості зварювального імпульсу величина глибини ЗТВ зростає при постійності інших параметрів режиму наварювання. Наприклад, при $I = 5000$ А; $r_k = 2$ мм; $\gamma = 7800$ кг/м³; $c = 600$ Дж/кг·К; $p = 1,4 \cdot 10^{-7}$ Ом·м із зростанням тривалості імпульсу струму від 0,08 до 0,12 с глибина зони гарту збільшується від 0,91 до 1,88 мм. Якщо узяти більше значення сили струму $I = 5500$ А при незмінності решти параметрів, то із зростанням тривалості імпульсу струму від 0,08 до 0,12 с глибина зони гарту збільшується від 1,22 до 2,11 мм.

Вважаючи $z = 0$ у виразі (10), отримуємо рівняння для розрахунку ширини b_{sid} знеміщеної зони на поверхні деталі

$$b_{sid} = r_k (\sqrt{1 + x^2_{(637K)}} - \sqrt{1 + x^2_{(1000K)}}) \quad (12)$$

Для визначення впливу поверхневої тепловіддачі, введемо поправочний коефіцієнт V , який визначає процес охолодження, змінюючись від 1 (охолодження відсутнє) до десятих долей. Тоді приблизну оцінку ширини $b_{sid(a)}$ знеміщеної зони з урахуванням поверхневого охолодження проводитимемо по формулі:

$$b_{sid(a)} = v(a) \cdot r_k (\sqrt{1 + x^2_{(637K)}} - \sqrt{1 + x^2_{(1000K)}}) \quad (13)$$

Результати розрахунку по методу кінцевих елементів в діапазоні $a = 0 - 90000$ Вт/м²·К дозволяють приблизно описати функцію $v(a)$ інтерполяційним рівнянням:

$$v(a) = (1 - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot a + 7,8 \cdot 10^{11} \cdot a^2). \quad (14)$$

Вважаючи, що контур контактного майданчика співпадає з контуром ізотерми 1100 К, а ізотерма 673 К із збільшенням поверхневої тепловіддачі наближається до контактного майданчика по такому ж закону, що і ширина зони відпуску, врахуємо вплив поверхневого охолодження за допомогою функції $v(a)$. Тоді, виходячи з геометричних побудов маємо:

$$n = \frac{2v(a) \cdot \sqrt{r_{(623K)}^2 - r_{(1100K)}^2}}{V(t_u + t_n)} \cdot (15)$$

Результати розрахунків по виразах (12 — 15) представлені графіками на рис. 2.7 та 2.8. Аналіз результатів показав (рис. 2.7), що кількість термічних циклів знеміцнення із збільшенням швидкості наварювання V від 3 до 6 мм/с при незмінності решти параметрів: $I = 5000$ А; $r_k = 2$ мм; $\lambda = 42$ Вт/м·К; $\alpha = 30000$ Вт/м·К; $\gamma = 7800$ кг/м³; $c = 600$ Дж/кг·К; $\rho = 1,4 \cdot 10^{-6}$ Ом·м; $t_i = 0,1$ с; $t_n = 0,2$ с

Кількість термічних циклів знеміцнення із збільшенням α від 0 до 90000 Вт/к·м² (рис. 2.8), тобто, із збільшенням витрати води, що охолоджує, для $I = 5000$ А; $r_k = 2$ мм; $\lambda = 40$ Вт/м·К; $V = 3$ мм/с; $\gamma = 7800$ кг/м³; $c = 600$ Дж/кг·К; $\rho = 1,4 \cdot 10^{-6}$ Ом·м; $t_i = 0,1$ с; $t_n = 0,2$ с скорочується з 6 до 1.

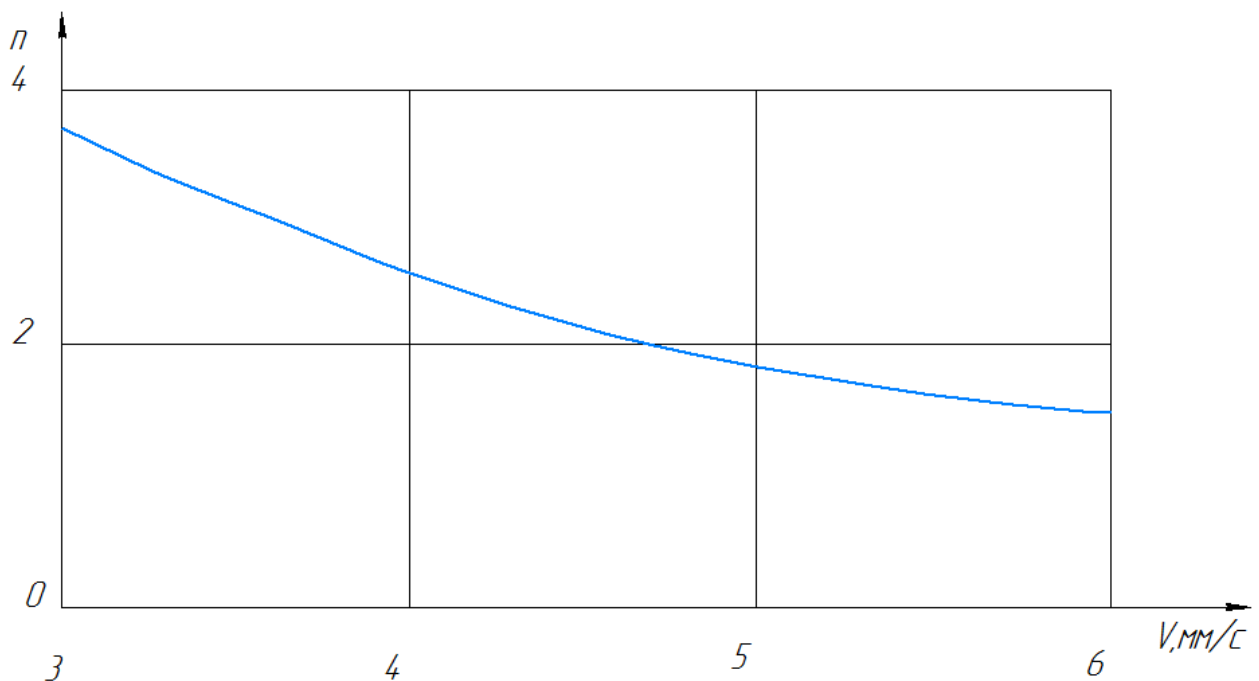


Рисунок 2.7 - Залежність кількості n термічних циклів знеміцнення при ЕКН від швидкості ЕКН: $t_i = 0,1$ с; $I = 5000$ А; $t_n = 0,2$ с; $\alpha = 30000$ Вт/к·м²; $\lambda = 40$ Вт/м·К; $\rho = 1,4 \cdot 10^{-6}$ Ом·м; $c = 600$ Дж/кг·К; $r_k = 2$ мм

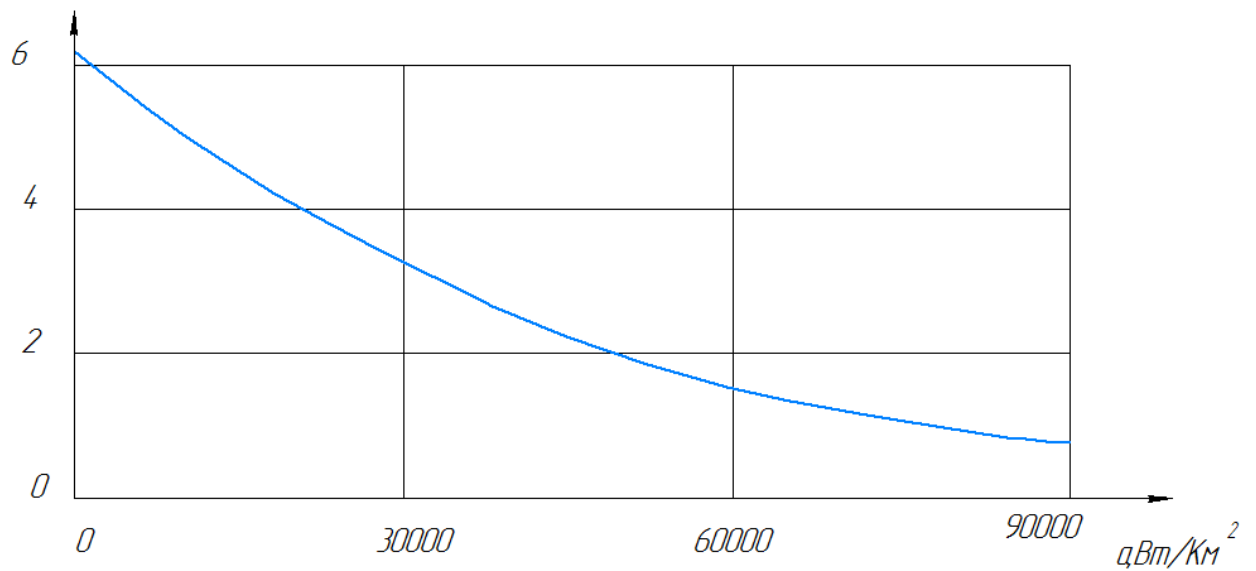


Рисунок 2.8 - Залежність кількості n термічних циклів знеміцнення при ЕКН від коефіцієнта поверхневої тепловіддачі, що характеризує витрату води, що охолоджує: $t_i = 0,1$ с; $I = 5000$ А; $t_n - 0,2$ с; $a = 30000$ Вт/к·м²; $V = 3$ мм/с $\lambda = 40$ Вт/м·К; $p = 1,4 \cdot 10^6$ 0м·м; $c = 600$ Дж/кг·К; $r_k = 2$ мм

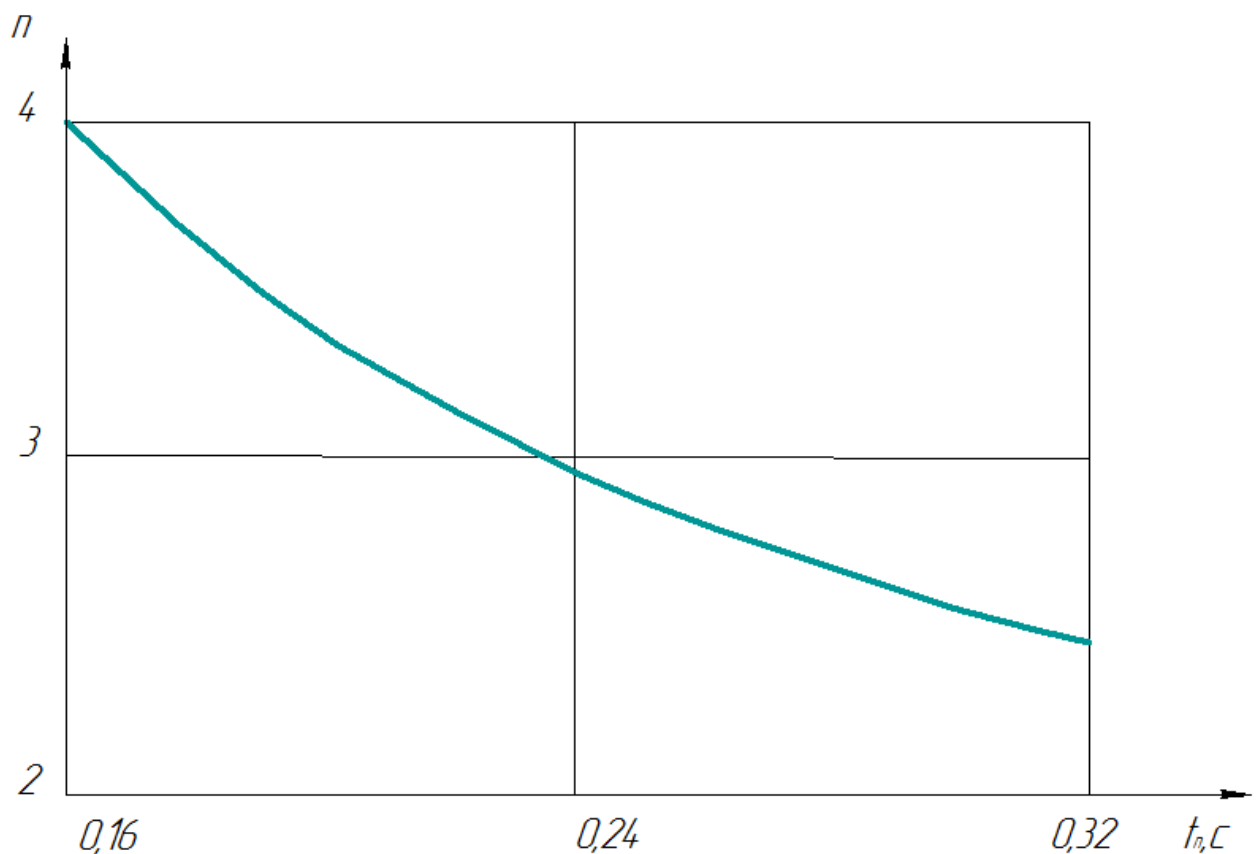


Рисунок 2.9 - Залежність кількості n термічних циклів знеміцнення при ЕКН від тривалості пауз t_n : $t_i = 0,1$ с; $I = 5000$ А; ; $a = 30000$ Вт/к·м²; $V = 3$ мм/с; $\lambda = 40$ Вт/м·К; $p = 1,4 \cdot 10^6$ 0м·м; $c = 600$ Дж/кг·К; $r_k = 2$ мм

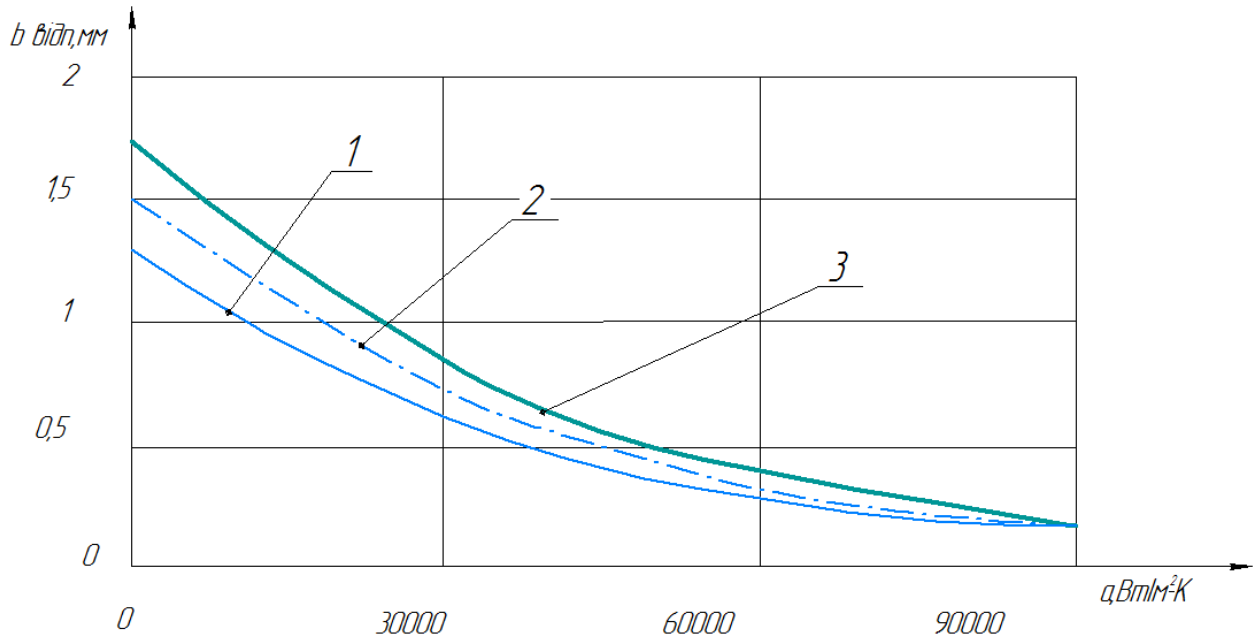


Рисунок 2.10- Залежність ширини $b_{відn}$ зони знеміцнення від параметрів режиму ЕКН: 1) $I = 5000$ А; 2) $I = 6000$ А; 3) $I = 7000$ А; $t_i = 0,1$ с; $t_n = 0,2$ с; $r_k = 2$ мм; $V = 3$ мм/с; $c = 600$ Дж/кг·К; $p = 1,4 \cdot 10^6$ 0м·м; $\lambda = 40$ Вт/м·К

Кількість термічних циклів знеміцнення із збільшенням часу пауз між зварювальними імпульсами в 2 рази, від 0,16 до 0,32 с (рис. 2.9), для $I = 5000$ А; $r_k = 2$ мм; $\lambda = 40$ Вт/м·К; $a = 30000$ Вт/к·м²; $\gamma = 7800$ кг/м³; $c = 600$ Дж/кг·К; $p = 11,4 \cdot 10^6$ 0м·м; $t_i = 0,1$ с зменшується з 4 до 3.

Ширина зони знеміцнення на поверхні наварюваної деталі збільшується із зростанням струму наварювання і зниженням витрати рідини, що охолоджує (рис.2.10). Наприклад, для $I = 5000$ А; $t_i = 0,1$ с; $t_n = 0,2$ с; $r_k = 2$ мм; $a = 30000$ Вт/к·м²; $\gamma = 7800$ кг/м³; $c = 600$ Дж/кг·К; $p = 11,4 \cdot 10^6$ 0м·м; $t_i = 0,1$ із збільшення величини a від 0 до 90000 Вт/К·м веде до звуження зони відпуску від 1,35 до 0,16 мм. Якщо a прийняти рівним 30000 Вт/К·м, то при тих же початкових

даних із збільшенням струму наварювання з 5 до 7 кА ширина зони відпуску зростає від 0,75 до 1 мм.

Аналітичні залежності (2.3 — 2.15) дозволяють також визначати максимальне зниження твердості в зонах локального знеміцнення при ЕКН. На рис.2.7 зображені залежності максимального сумарного знеміцнення в процесі ЕКН від тривалості імпульсу струму і кількості циклів знеміцнення, які були побудовані з використанням рівняння (2.10), де за еквівалентну була взята середньо інтегральна температура термічного циклу знеміцнення, а як максимальна температура циклів - температура початку аустенітного перетворення при нагріві. Аналіз результатів розрахунку показує, що для постійних коефіцієнтів $K = 7$, $C = 14$ і $n = 3$ с збільшенням тривалості імпульсу струму ступінь знеміцнення зон відпуски зростає приблизно від 8 до 11 *HRC*. При тих же значеннях коефіцієнтів K і C , але постійній тривалості імпульсу $t_i = 0,1$ с, збільшення числа еквівалентних циклів знеміцнення від 1 до 7 приводить до зростання ступеня знеміцнення від 7 до 12 *HRC*.

Одним з важливих показників ЕКП з погляду їх зносостійкості є частка F (%) сумарної площі знеміцнення зон в обшій площі навареної поверхні. За даними роботи [7] площа знеміцнення ділянок складає від 10 до 50 % від загальної площі поверхні навареного металу. Враховуючи, що для формування шару навареного металу потрібне часткове перекриття сусідніх валиків, отримуємо, що

$$F = \frac{100 \cdot b_{\text{від}}}{2r_k(1-m)}, (16)$$

де m - коефіцієнт перекриття валиків навареного металу.

При проведенні розрахунків по виразу (6) необхідно мати на увазі, що допустимий розкид поверхневої твердості, що указується в нормативно технічній документації, складає, як правило, 6-10 одиниць після шкали Роквелла С. По цій причині, при визначенні параметра F слід брати до уваги тільки площу ділянок, знеміцнення яких перевищує вказані значення. Задавши максимально допустиме значення $R_{\Sigma} - R_{\text{доп}}$ і кількість циклів відпуску n , з

виразів (14) і (16) можна знайти температуру відповідної ізотерми, а потім розрахувати уточнений параметр F . На рис.2.12 представлені розраховані по виразу (15) залежності параметра F від коефіцієнта перекриття валиків навареного металу t для $P_{\text{доп}} = 7$ і $n = 3$.

Збільшення коефіцієнта перекриття валиків від 0,2 до 0,6 при незмінній тривалості імпульсу $t_i = 0,08\text{с}$ приводить до зростання параметра F від 40 до 80 %. Разом з цим істотно впливає на значення F тривалість t_i зварювальних імпульсів: у разі постійності коефіцієнта $m = 0,5$ збільшення від 0,04 до 0,08 с дає приріст параметра F від 47 до 65 %.

Набуті значення F в цілому узгоджуються з даними роботи [8].

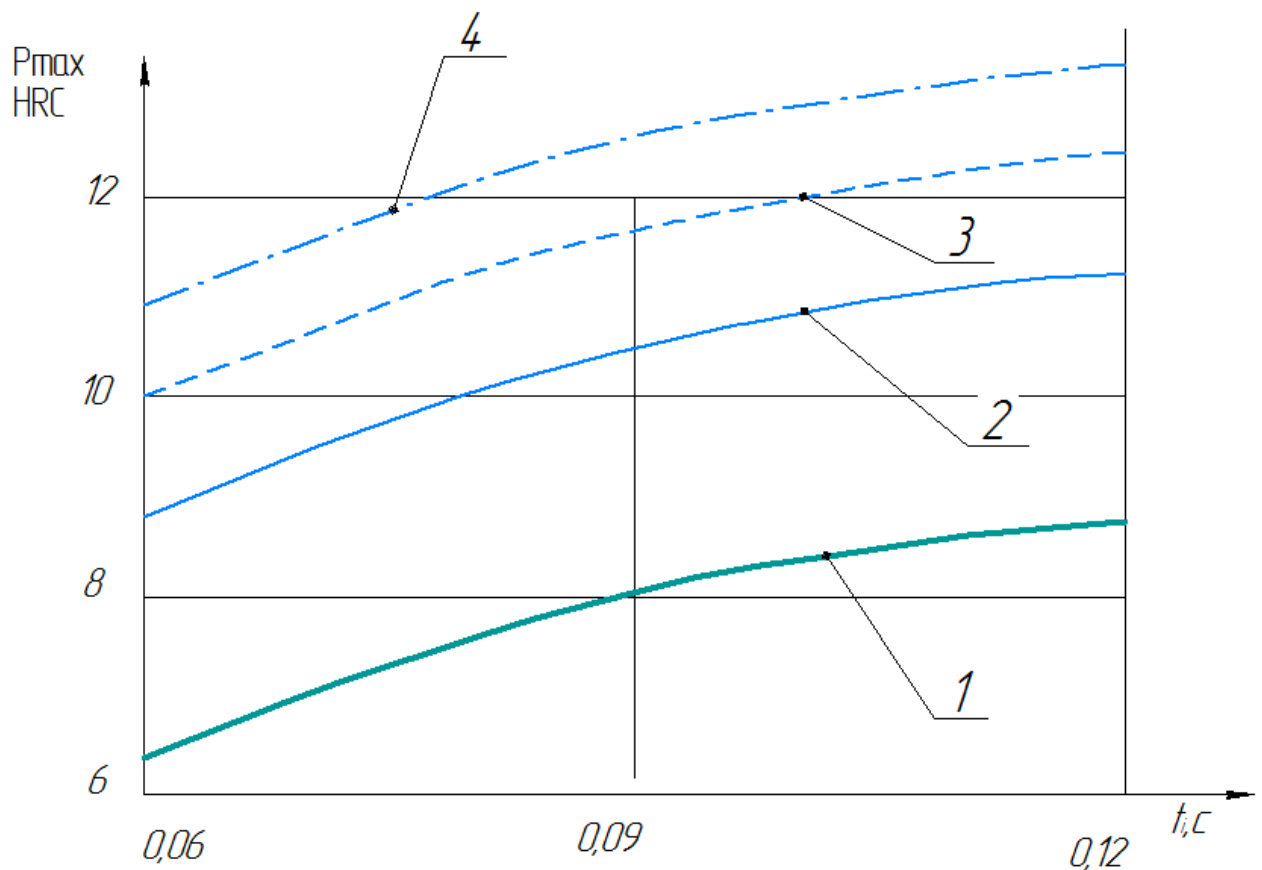


Рисунок 2.11 - Залежність максимального зниження твердості $P_{\Sigma \text{max}}$ в процесі ЕКН від тривалості t_i зварювального імпульсу при різній кількості n термічних циклів відпуску $C=15$; $K=7$; 1) $n=1$; 2) $n=3$; 3) $n=5$; 4) $n=7$

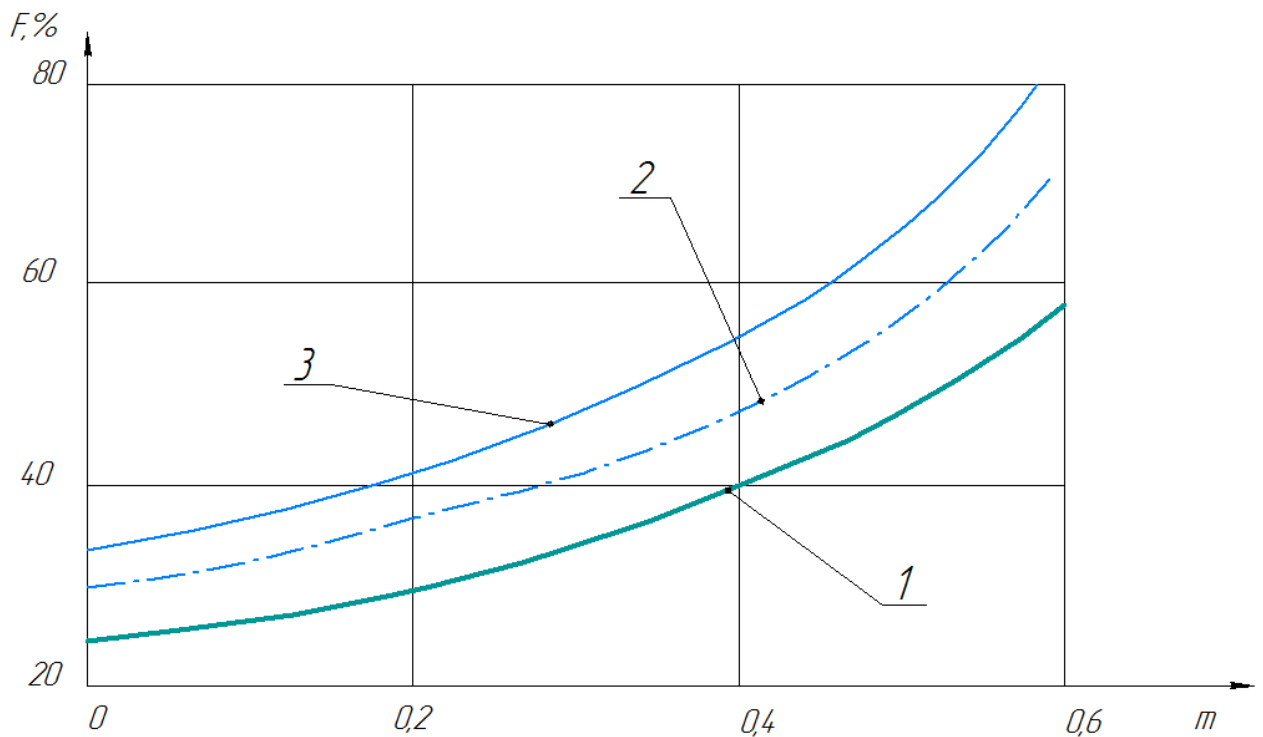


Рисунок 2.12 - Залежність частки сумарної площі зон знеміцнення в загальній площі шару навареного металу від коефіцієнта перекриття валиків m при різних тривалості імпульсу $n = 3; P_{don} = 7$; 1) $t_i = 0,04$ с; 2) $t_i = 0,06$ с; 3) $t_i = 0,08$ с

2.2. Розрахунок впливу ширини електрода на дефектність багат шарових покриттів нанесених ЕКН

ЕКН здійснюється із застосуванням тиску і нагріву місця наварювання електричним струмом, що проходить через електроди які під'єднані до зварювального трансформатора, при включенні якого через заготовки протікає зварювальний струм. Він нагріває дріт, причому найбільша кількість теплоти виділяється в місці контакту.

Підвищена щільність струму в поперечному перетині наварюваного дроту з боку раніше навареного валика викликає виникнення дефектів суцільності в «гребінцях» шару навареного покриття. Це приводить до перегріву наварюваного металу і витискання його з електрода. Така нерівномірність може приводити до плавлення металу дроту на суміжному валику і видавлювання розплавленого металу з-під електрода. Кристалізація цього об'єма металу без обтискання електродом, приводить до утворення дефектів

щільності усадкового характеру, неякісного з'єднання видавленого об'єма дроту з поверхнею.

В цих об'ємах металу виявляються дефекти щільності у вигляді пір і тріщин. При одношаровому наварюванні ці дефекти віддаляються подальшою механічною обробкою і не призводять до зниження якості покриття. При багатошаровому наварюванні їх виникнення неприпустимо.

Якщо дещо збільшити ширину електрода в залежності від діаметру дроту, величини його усадки, кроку наварювання, то це унеможливить витискування наварюваного дроту з-під електроду та виникнення дефектів.

Для розрахунку ширини електрода від параметрів ЕКН запропонована розрахункова схема пов'язує такі основні параметри наварювання, як діаметр дроту d , крок наварювання H , ширина електроду b та величину осідання дроту з об'ємом металу, котрий видавлюється в результаті процесу.

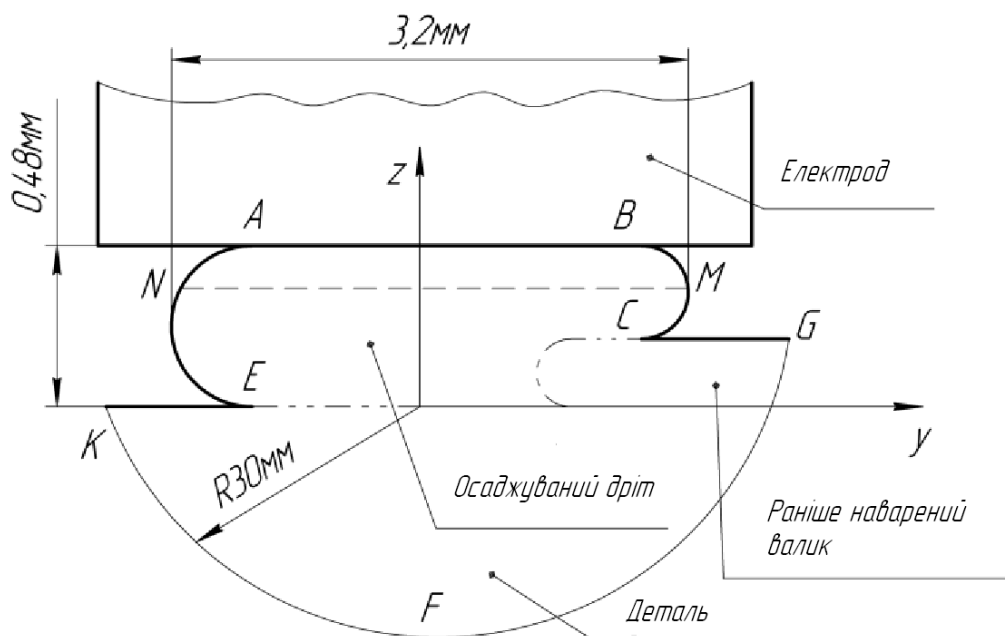


Рисунок 2.13 - Розрахункова схема для розрахунку ширини електрода при осіданні дроту 70%

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi} \left((b_1 - H)h - k \cdot h \cdot \frac{b - 2H + b_1}{2} \right)},$$

де $b_1 = \frac{\pi \cdot d^2}{4h(1 + \varepsilon)}$ - ширина навареного валика; D – висота нерівності; k –

коефіцієнт нерівномірності перебігу металу; h - висота навареного валика; ε - осьова деформація дроту.

Нерівномірність деформації дроту обмеження суміжним валиком була досліджена експериментально і апроксимована лінійною залежністю

$$\varepsilon = 0,163b - 0,8$$

Вірність розробленої моделі була перевірена шляхом порівняння результатів розрахункових значень хвилястості шару покриття і експериментальними даними, при цьому розбіжність не перевищила перевищила 5%.

Оптимальна ширина електроду відповідає нульовому значенню об'єма

$$b = \left(5,992 - \frac{\pi \cdot d}{8(1-\eta)(1+\varepsilon)} \right) + 4,237\sqrt{a},$$

$$\text{де } \alpha = \left(1,414 - \frac{0,03\pi \cdot d}{(1-\eta)(1+\varepsilon)} \right)^2 + \frac{0,201\pi \cdot d}{(1-\eta)(1+\varepsilon)} - 3,414;$$

η – величина осадження дроту

Завдяки отриманим залежностям отримана можливість ще на стадії розробки технологічного процесу ЕКН визначити оптимальну ширину електроду. Так, при використанні дроту діаметром 1,6 мм оптимальна ширина електроду повинна складати 8 мм, При цьому витискування наварюваного дроту не відбувається. Хвилястість покриття складає близько 0,2 мм і утворюється при впровадженні електроду в раніше наварені валики. Таким чином, перевищення критичної ширини електроду усуває причину виникнення в цій зоні дефектів щільності, запобігає відшаровування подальшого шару та міняє умови формування зони перекриття суміжних валиків.

2.3. Методика дослідження

2.3.1. Обладнання, матеріали та технологічні параметри нанесення покриття ЕКН

Відповідно до отриманих експериментальних залежностей були вибрані наступні параметри режиму наварювання: струм наварювання $I = 6,7$ кА, тривалість паузи $t_n = 0,24$ с, тривалість імпульсу $= 0,08$ с, тривалість наростання імпульсу (модуляції) - $t_{mod} = 0,06$ с, перекіс фаз - позиція перемикача “5”, швидкість наварювання $V = 3$ мм/с, витрата води Q_e , що охолоджує $= 0,00006$ м³/с, радіус електрода $R = 150$ мм, зусилля притиснення електроду $P = 1,5$ кН.

2.3.2. Методика отримання багатошарового композиційного покриття

При нанесенні композиційного покриття застосовувалась комбінована технологія, при котрій для компенсації зносу більше двох міліметрів на деталь наносився підготовчий шар з двошарового покриття ЕКН. При цьому застосовувався низько вуглецевий зварювальний дріт Св-08.

Відповідно до отриманих експериментальних залежностей були вибрані наступні параметри режиму наварювання: струм наварювання $I = 6,7$ кА, тривалість паузи $t_n = 0,24$ с, тривалість імпульсу $= 0,08$ с, тривалість наростання імпульсу (модуляції) - $t_{mod} = 0,06$ с, перекіс фаз - позиція перемикача “5”, швидкість наварювання $V = 3$ мм/с, витрата води Q_e , що охолоджує $= 0,00006$ м³/с, радіус електрода $R = 150$ мм, зусилля притиснення електроду $P = 1,5$ кН.

Далі на активовану поверхню шорстку поверхню напилювався шар зносостійкого покриття методом електродугового напилення порошковим дротом ПП-АН-307 в парі з суцільнотягнутим дротом Св08.

В роботі здійснювалось нанесення покриттів з комбінацій порошкового та суцільнотягнутого дроту, згідно рекомендацій [4,5]

Для нанесення покриття застосовувався апарат електродугового напилення МІГ-2 (рис. 2.14), котрий було модифіковано для забезпечення

можливості здійснювати процес ЕДН дротів що мають різні механічні характеристиками та швидкістю плавлення. В даний апарат електродугового наплення МІГ-2 були внесені наступні конструктивні зміни: пристрій було оснащено системою направляючих котрі забезпечували спрямування дроту.

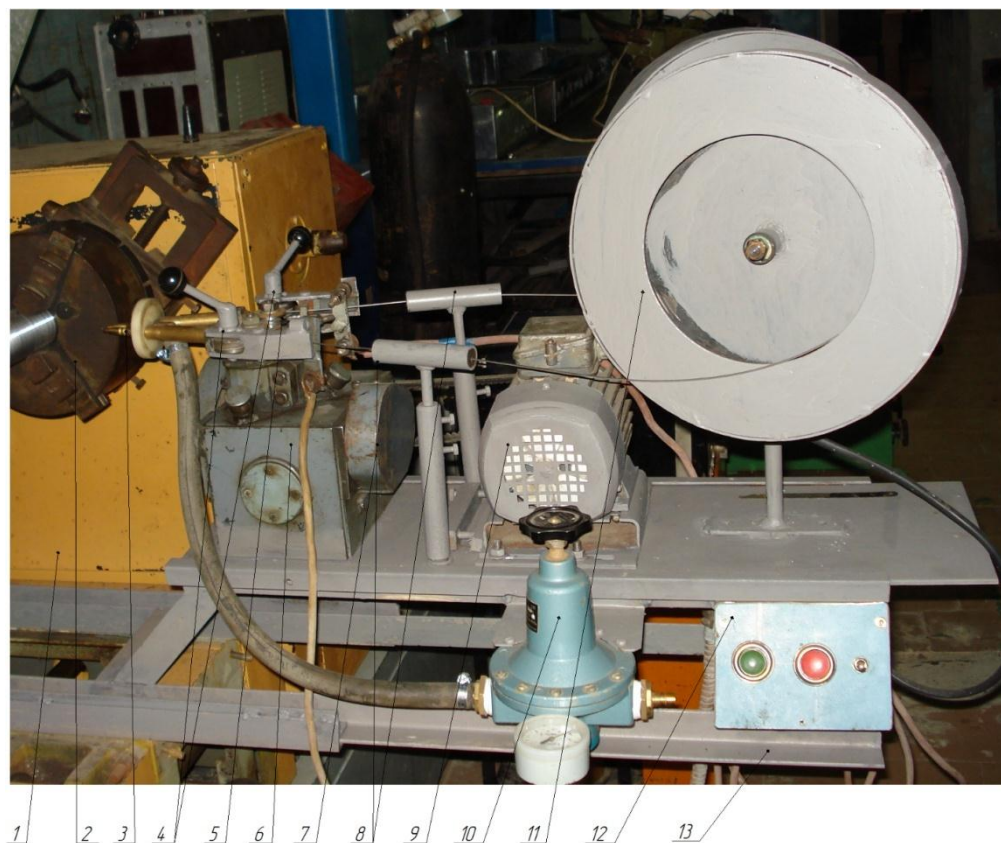


Рисунок 2. 14 - Апарат електродугового наплення МІГ-2: 1 – обертач, 2 – трикулачковий патрон, 3 - розпилююче сопло; 4 – затиски; 5 – подаючі ролики; 6 - червячний двоступінчастий редуктор; 7 - корпус для змінних шестерен; 8 - діелектричні направляючі, 9 – електродвигун, редуктор тиску стислого повітря; 10 - штатив та касети з дротом; 11 – пульт управління; 12 - каретка.

Розроблено механізм для запобігання інерційному розкручуванню касети з дротом з системою додаткових діелектричних направляючих для дротів збільшеної довжини.

Для забезпечення рівномірності плавлення різнорідних дротів додатково виготовлено комплекти змінних шестерен для автономного регулювання швидкостей подачі дротів.

Модифіковано механізм подачі дрових матеріалів для унеможливлення процесу прослизання та зминання порошкового дроту. Для цього на робочій поверхні подаючого ролика для порошкового дроту проточувалась сферична канавка, а потім на профіль канавки напилювали покриття при тиску стислого повітря з крупних часток, що запобігало зношенню ролика, а також забезпечувало надійне зчеплення ролика з дротом, не допускаючи просковзування і зминання дроту.

Також було змінено конструкцію ексцентрика затиску та регулюючого гвинта для притиснення дроту до робочого ролика та забезпечення надійного електричного контакту.

Для транспортування розплавлених частинок застосовувалось стисле повітря. Система стисненого повітря складається з компресора продуктивністю 5 м³ стисненого повітря за хвилину при тиску в системі не нижче 6МПа. Застосовувався компресор типу ПКС - 5,25 в комплекті з ресівером об'ємом 5 м³ для аккумулявання стисненого повітря і забезпечення стабільності роботи системи.

Система очищення повітря від пилу та вологи складалася з повстяного фільтру та комплекту стандартних вологовловлювачів.

Система очищення відпрацьованого газу складається з фільтру для очищення відпрацьованого повітря абразивноструменевої камери та апарату типу "Циклон" для відділення взвішених часток пилу і продуктів згорання металізаційної камери.

Система вентиляції обладнується стандартними вентиляторами і включається послідовно в систему очищення.

В роботі для нанесення покриттів було застосовано комбінацію порошкових та суцільнотягнутих дротів згідно [4,5]. Так як найкращий результат отримано при застосуванні порошкового дроту ПП-АН-307 та

суцільнотягнутого дроту Св-08, цю комбінацію й було застосовано для подальших досліджень. Матеріали для виготовлення наповнювача порошкового дроту ПП-АН-307 та хімічний склад дротів для ЕДН відображено в таблицях 2.1 та 2.2

Таблиця 2.1 - Матеріали для виготовлення наповнювача порошкового дроту ПП-АН-307

Назва матеріалу	Марка	ГОСТ або ТУ	Хімічний склад Мас. частка,
Залізний порошок	ПЗ	ГОСТ 9849-74	C-0,083; Si-0,15; Mn-0,4; S-0,15; P-0,02; Fe-решта
Ферохром	ФХ	ГОСТ9849-74	C-73, Cr-8,3, S-0,015, P-0,014, Fe-18,7
Феромарганець	ФМ	ГОСТ 7532-84	
Мармур	М-1	ТУ 76-34-78	
Феросіліцій	ФС-12	ГОСТ 6534-73	
Лігатура	ФХБ	ТУ95.14.10-93	Cr-50; B-20; Al-7; Ti-3; Fe-20

Таблиця 2.2 - Хімічний склад дротів для ЕДН

Тип дроту	Fe	C	Cr	B	Si	Mn	Інші
Порошковий дріт ПП-АН-307	75,5	0,75	20	2,5	1,0	0,6	0,2
Суцільнотягнутий дріт Св-08	98,74	0,1	0,15	-	0,03	0,6	0,38

Крім цього додатково в склад наповнювача порошкових дротів вводили невеликі добавки з'єднань галогенідів лужних і лужно - земельних металів та легко іонізуючих елементів.

Джерелом живлення при проведенні нанесення електродугових покриттів слугував випрямлювач постійного струму ВС-500 з пологопадаючою вольтамперною характеристикою. При цьому при під'єднанні електродних дротів катодом слугував високолегований порошковий дріт, а анодом – суцільнотягнутий дріт (рис 12).

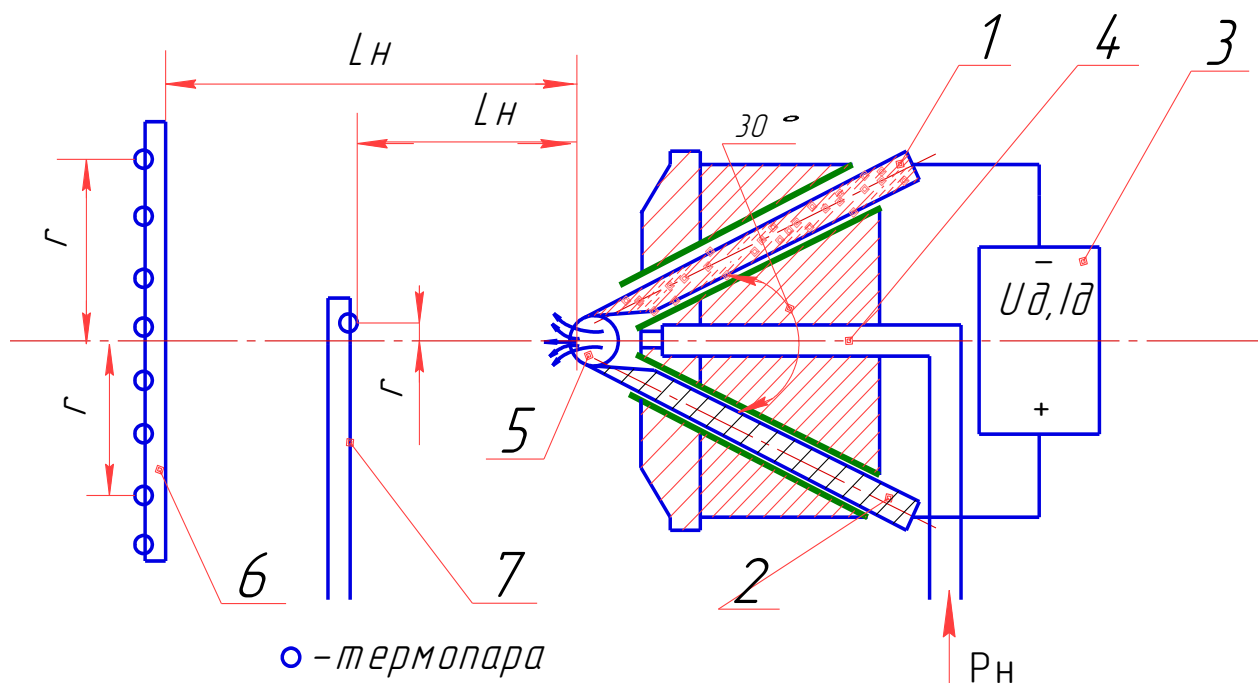


Рисунок 2.15 - Схема процесу ЕДН з застосуванням комбінації електродних матеріалів: 1 – порошковий дріт ПП-АН-307; 2 – суцільнотягнутий дріт Св-08; 3 – зварювальний випрямляч ВС-500; 4 – розпилююче сопло; 5 – зона горіння дуги; 6 - пластина з термопарами; 7 – шток з термопарою; L_H – відстань від зони горіння дуги до термопари; r – відстань від осі потоку до поверхні досліджуваного зразка.

Це обумовлено тим, щодля електрода - катода характерна просторова невідношеність горіння дуги, крапельний перенос електродного металу і підвищене його розбризкування. Якщо в якості катода використовується порошковий дріт, то через особливі фізико – хімічні особливості розплаву, що утворюється при його плавленні, розміри крапель зменшуються, процес горіння дуги суттєво стабілізується, забезпечується мінімальні втрати металу через розбризкування. Активна пляма дуги на, як правило, на краплі, що формується в торцевій кільцевій частині обгортки порошкового дроту.

При горінні дуги і плавленні електроду анода спостерігається дещо інша картина. При цьому процесові торець суцільного перерізу має асиметричну

загострену форму, розплавлений метал в вигляді тонкого струменю або відносно крупних окремих крапель під дією стисненого повітря переноситься на поверхню основи. Таким чином відбувається формування покриття, котре складається з дрібнодисперсних високолегованих твердих часток розплавленого та розпиленого порошкового дроту та з розплаву суцільнотягнутого дроту.

Нанесення покриттів проводили після знежирення в мийній камері ТП 50271. 00344 в розчині знежирення, склад якого показано в таблиці 2.3. Зразки проварювали в розчині на протязі 15 - 20 хв. при температурі 60-70° С. Контроль якості знежирення проводиться по змочуваності поверхонь досліджуваних зразків згідно ГОСТ 9.402-80. Після закінчення процесу корпус з зразками продувається стисненим повітрям кл. 13 (ГОСТ 17433-80)

Таблиця 2.3 - Склад розчину знежирення.

Назва компоненту (ГОСТ або ТУ)	Кількість, г/дм ³
Тринатрій фосфат (ГОСТ 201-76Е)	30 - 50
Сода кальцинована технічна (ГОСТ 5100-85Е)	20 - 30
Натрій їдкий технічний (ГОСТ 263-79)	20 - 30
Скло натрієверідке (ГОСТ 13078-81)	3 - 5
Вода питна (ГОСТ 2874-82)	до 1 дм ³

Після цього проводили підготовку поверхні почергово зазначеними вище способами.

Нанесення покриття ЕДН проводили не пізніше 3 годин після попередньої обробки через зниження енергії активації. Поверхні корпусу пристосування для отримання дослідних зразків для контролю адгезії захищали від налипання розплавлених часток шаром фарби, що має здатність швидко висихати.

Напилення здійснювали в 2 етапи на слідуючих режимах : перший етап - напруга U – 36В, сила струму I – 200-220 А, дистанція напилення - 100 мм., обороти V деталі - 36 об/хв, тиск розпилюючого газу Р – 0,05МПа, товщина

шару покриття -0,7 мм. Другий етап: Напилення проводиться не пізніше 30 хв. після чорнового напилення на слідуючих режимах: напруга U - 24 В, сила струму I - 180-200 А, дистанція напилення L -150мм., обороти V деталі - 36 об/хв, тиск розпилюючого газу P -0,4 МПа, товщина шару покриття - 2мм.

Відмінності в режимах нанесення шарів покриття надають змогу підвищити адгезію покриття та зменшити внутрішні напруження. Нанесення першого шару на збільшених напрузі і силі струму та зменшених значеннях дистанції напилення і тиску розпилюючого газу дає змогу при розпиленні отримати краплі розплавленого металу більшої величини і температури. Це забезпечує краще зчеплення покриття з основою і релаксує внутрішні напруження в напиленому покритті. Напилення другого шару на зазначених режимах дозволяє отримати при розпиленні двохфазний дрібнокрапельний потік, що в результаті формує покриття з низькою пористістю та високою зносостійкістю.

2.3.3. Методика дослідження межі витривалості відновлених деталей

Одним з показників для визначення оптимальності технологічного процесу ЕКН, вживаного при відновленні автотракторних деталей, що піддаються дії напруги стиснення і розтягування, служить межа витривалості деталей. Втома є поширеною причиною руйнування механізмів і деталей машин в результаті дії на них напруги стиснення і розтягування в період тривалої експлуатації техніки.

Дослідники в роботах [11] відзначають, що говорити про опір втомі зварних з'єднань по властивостях початкового металу не можливо, оскільки в них зниження втомної міцності відбувається не тільки унаслідок концентрації напруги, але і у ряді інших несприятливих умовах, специфічних для самого зварювального процесу. За їх словами, опір втомі зварних виробів можна надійно визначити тільки на основі натуральних випробувань.

Це також відноситься і до з'єднань, отриманих ЕКН. Як відомо, втомна міцність таких з'єднань в значній мірі залежить від самих умов здійснення

процесу приварювання ЕКН, що визначають як знак залишкової напруги так і її розмір.

Експериментальні дослідження проводили на машині вигину і кручення марки У20, згідно ГОСТ 2860-65. Загальний вид машини для випробувань показаний на малюнку 2.16. Випробування проводили на зразках (рис. 2.18), виготовлені сталі 45 ГОСТ 1050-88, на яких приварювали вибрані присадні матеріали. Контактне приварювання здійснювали на установці 011-01-02Н «Ремдеталь» за один прохід на режимах приварювання, які забезпечують якнайкращу міцність зчеплення присадного матеріалу. Після ЕКН проводили механічну обробку заготовок на універсальному колошліфувальному верстаті марки 3М151 до отримання відповідної шорсткості і номінального розміру.



Рисунок 2.16 - Установка для втомних випробувань циліндрових зразків типу «вал» У-20

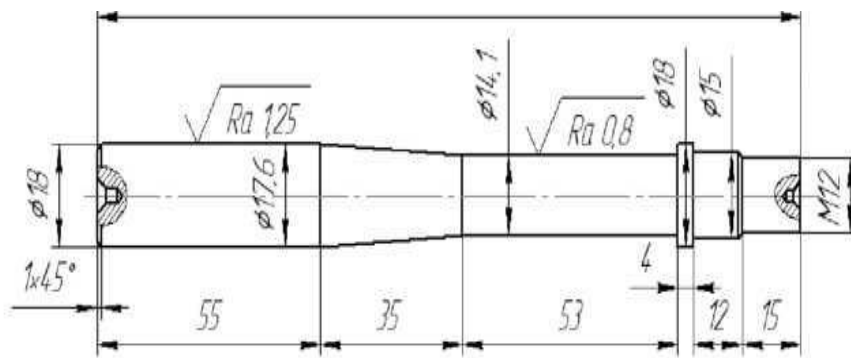
Порівняння наварених заготовок проводилося із зразками, виготовленими із сталі 45 ГОСТ 1050-88 і загартованими до твердості HRC48..50. Випробування заготовок проводилося вантаженням по симетричній схемі вигину двох заготовок з постійним обертанням(рисунок 2.17) на машині У20. При цьому розрахункова внутрішня напруга визначалася по формулі:

$$\sigma_a = \frac{M_i}{W} = \frac{32FL}{\pi d^3}$$

де $M_i = FL$ - момент згину в небезпечному перетині, Н-м

$We = \frac{\pi d^2}{32}$ - момент осьовий опору розрахункового перетину, м ;

F - навантаження, прикладене до заготовки, Н; l - плече (відстань від небезпечного перетину зразка до точки додатку навантаження), м; d - діаметр заготовки, м



а)



б)

Рисунок 2.17 - Креслення (а) і загальний вигляд (б) зразків для втомних випробувань

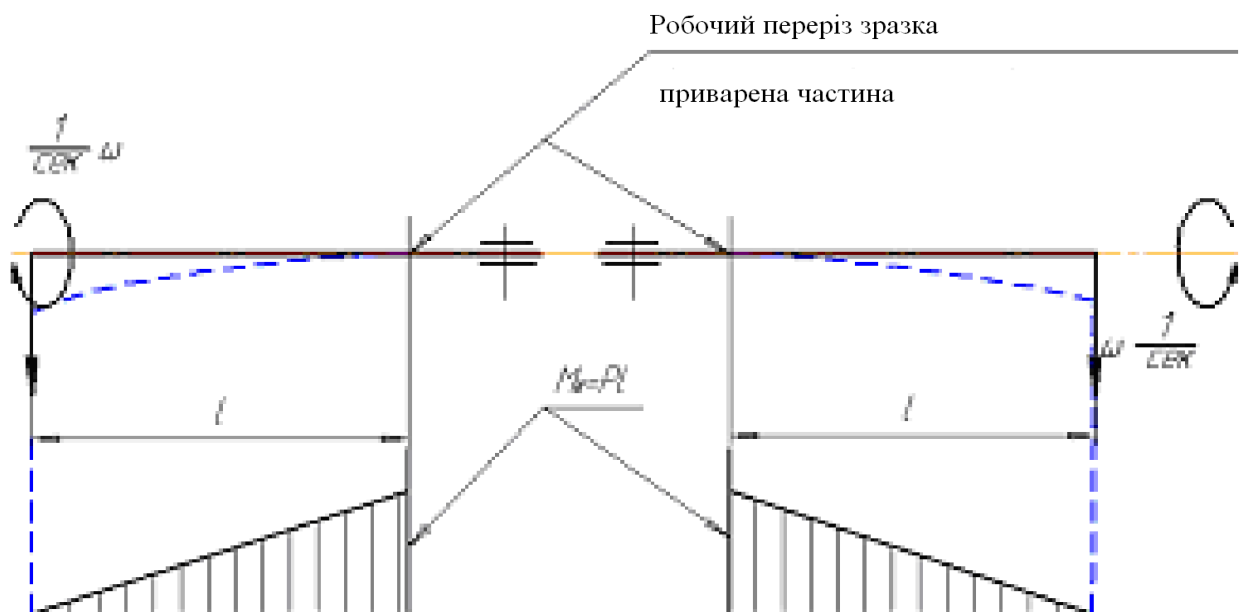


Рисунок 2.18. Епюра моментів згину і схема навантаження при втомних випробуваннях

2.3.4. Методика дослідження зносостійкості відновлених поверхонь

Дослідження зносостійкості покриття за умов граничного тертя проводили на машині тертя МІ - 1М по схемі "диск- колодка" (рис. 2.11). Диски - зразки вирізали з циліндрів з сталі 45 ГОСТ 1050-74 на яку наносився шар КП. Для виготовлення еталонного зразка застосовувався диск з сталі 45, який загартовувався до твердості 50 - 55 HRC. Діаметр зразків складав 50 мм., а ширина 20 мм. Контртілом служила колодка з бронзи Бр С-30. Прилягання контртіл до поверхні зразків перевіряли на просвічування і в разі виникнення зазору доводили наждачним папером № 20. Поверхня тертя складала 100 мм². Шліфування напилених зразків проводилось на спеціальній оправці при достатньому охолодженню. Випробування зразків проводились на слідуючих режимах: навантаження на пару тертя 5,0 МПа, швидкість відносного переміщення поверхонь тертя 0,6 м/с. В якості змазуючого матеріалу застосовувалось автомобільне масло АС 8 ГОСТ 10541-63 в яке добавлявся дрібнозернистий електрокорунд нормальний марки 15А ГОСТ 715- 84 в кількості 0,5 % від загальної маси. Змащування поверхні тертя здійснювалось через змащування ролика маслом при контакті з просоченим маслом фетром. Подача масла здійснювалась крапельним методом з інтервалом падіння краплі 3-5 сек, що дозволило забезпечити граничний режим тертя. Момент сили тертя фіксувався за допомогою записуючого пристрою. Для випробування виготовлялись по 8 зразків кожного виду комбінацій дротів і 8 еталонних зразків. Зразки випробовувались на машині тертя на протязі 16 годин (рис.2.12). Для визначення зношення контртіл застосовувалась вагова методика: до проведення випробування, через годину роботи і по його завершенні фрагменти вкладишів промивались бензином по ГОСТ 443-76 і ацетоном по ГОСТ 18300-72, просушувались і зважувались на вагах лабораторних рівноплечих 2 класу ВЛР 300 г. з точністю до 0,00001 г. Перед проведенням випробування перевіряли і тарірували вимірювальну і реєструючу

апаратуру. Зношування визначали за зміною маси контртіл зразків через кожну годину випробування.

В зв'язку з пористістю КП, що унеможливило застосування вагової методики, для визначення зношення зразків була застосована методика згідно ГОСТ 17534-72 по методу визначення зміни глибини вирізаних лунок. Для цього на зразках за допомогою приладу УПОІВ - 2 по утворюючій циліндра було нарізано 6 лунок, розміщених через 60 градусів. Заміри розмірів лунок проводили на металографічному мікроскопі МІМ - 8 за допомогою вимірювальної головки від твердоміра Віккерса (х 12,5) і замість об'єктива використовували окуляр х3. Кожну лунку заміряли тричі до і після випробування. Величину зношення роликів визначали як середньоарифметичне значення з 6 вимірів при трьохразовому повторюванні дослідів. Величина місцевого зношення ролика визначалась по формулі :

$$\Delta h = h - h_1 = 0,125(l^2 - l_1^2) \frac{1}{r},$$

де Δh - лінійне зношення в місці нанесення лунки, мм.;

h, h_1 - глибина лунки до і після визначеного етапа зношування, мм.;

l, l_1 - довжина лунки до і після визначеного етапа зношування, мм.;

r - радіус обертання вершини різця, мм.

Момент тертя записувався на переобладнаному потенціометрі типу ПСО-08 з точністю реєстрації до 0,01 Н.м. По встановленому моменту тертя визначали коефіцієнт тертя по формулі:

$$f = \frac{M_{tp}}{Pr},$$

де P - нормальне навантаження на пару тертя;

r - радіус ролика.

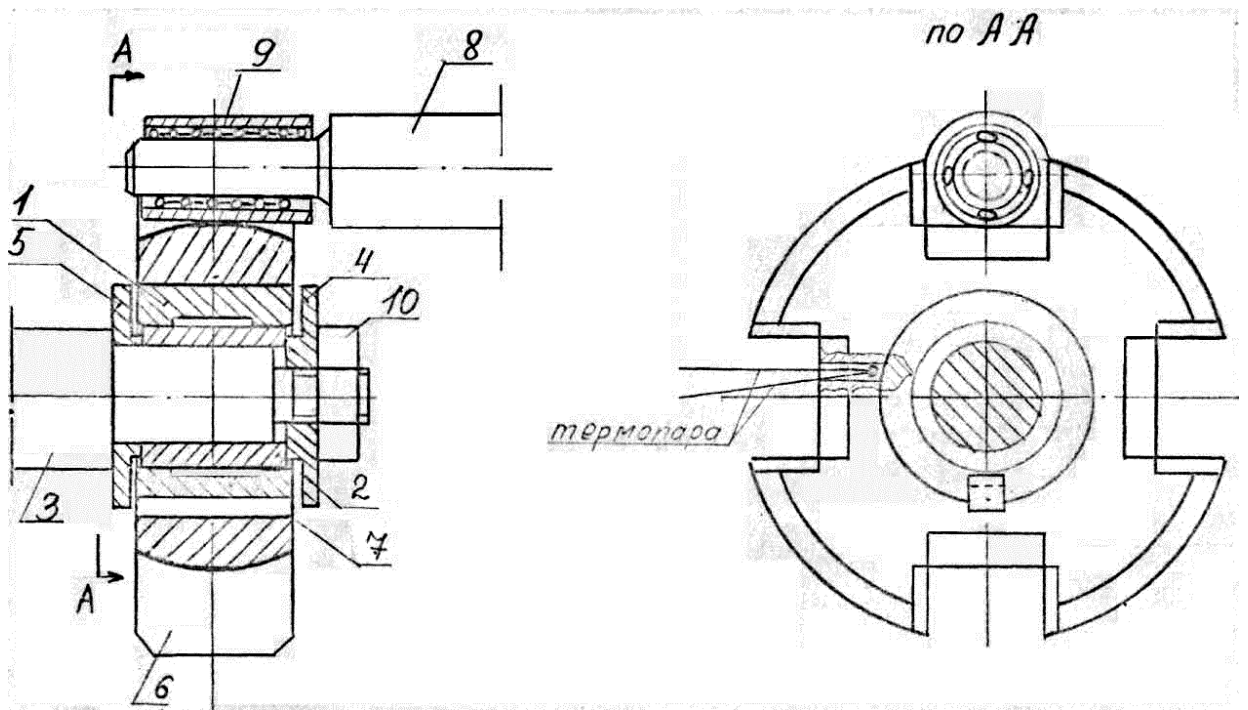


Рис 2.19 - Схема встановлення зразків на машині тертя МІ-1М.

1- втулка; 2- досліджуваний зразок, імітуючий вал; 3- вал машини тертя; 4,5 – шайби; 6 – диск з пазами; 8- вал каретки; 9- повзун з сепаратором та шариками.

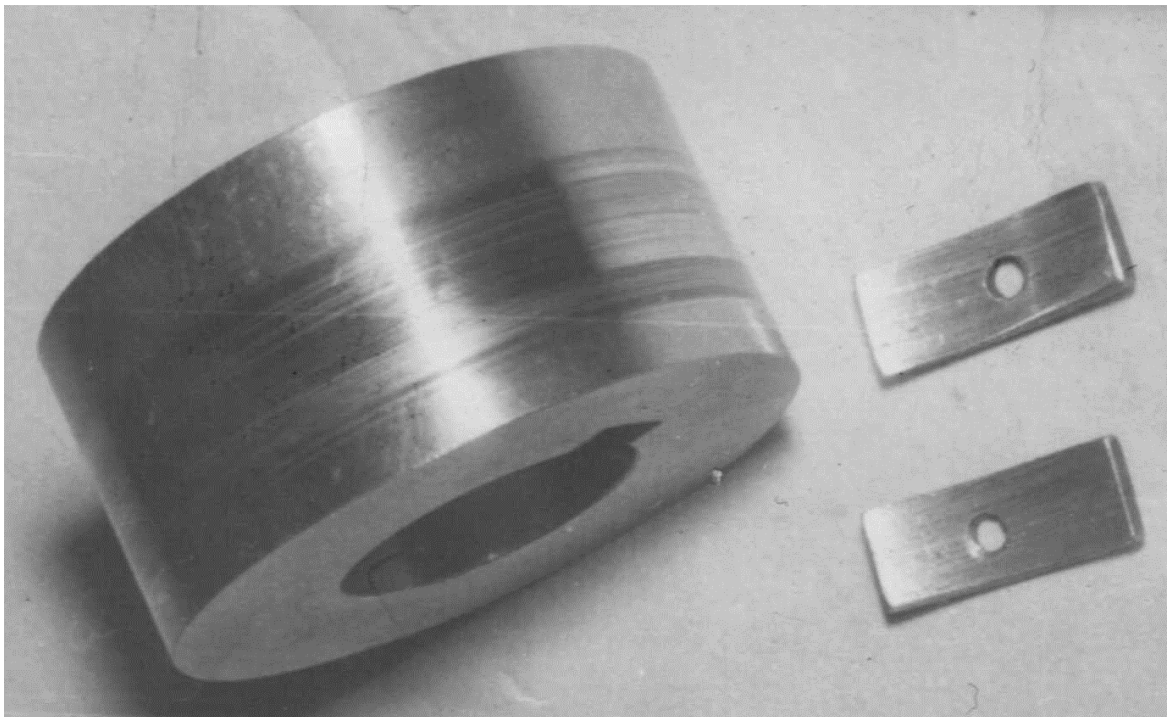


Рис. 2. 20 - Досліджуваний зразок та контртіла після випробування

Крім того, вимірювали температуру пар тертя за допомогою хромель-нікелевої термопари „ХК” з діаметром дроту 0,5 мм, яку розташовували на

відстані 5 мм від поверхні тертя. Температура записувалась на потенціометрі КСП-2 кл. 0,5 ГОСТ 7164-66. Таріровка термопари проводилась на лабораторному ртутному термометрі з ціною поділки 1°C ГОСТ 215-57 з кордоном вимірів $0-150^{\circ}\text{C}$.

Методика досліджень абразивної зносостійкості. Випробування абразивної зносостійкості КП проводили за двома методиками. Перша, передбачала випробування покриттів незакріпленим абразивом (гумовий диск з піском) (рис.2.21), а друга – закріпленим абразивом (абразивний круг). В обох методиках використовували зразки розміром $40\times40\times8$ мм з покриттями товщиною 1 мм.

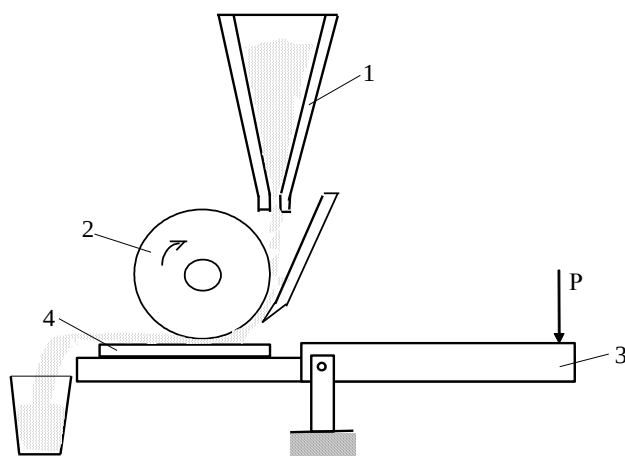


Рис. 2.21 - Схема установки для випробувань на знос незакріпленим абразивом: 1 – контейнер з піском; 2 – гумовий диск; 3 – навантажуючий важіль; 4 – зразок

Режим випробувань гумовим диском: навантаження $P = 2,5$ Н, діаметр диска $d = 50$ мм, ширина 12 мм, лінійна швидкість обертання 0,4 м/с. Абразив – пісок. Час випробувань 0,5 год. Перед випробуваннями абразив фракціонували і просушували. Розмір зерен абразиву до 200 мкм. Вологість не перевищувала 0,16 %. Гумовий диск перед випробуваннями притирали до шліфувального паперу типу 2 (ГОСТ 6456-75) із зернистістю № 8П (ГОСТ 3647-71),

закріпленого на плоскій пластині і промивали. За еталон зносостійкості вибрано гартовану сталь ШХ 15 (HRC 60).

Досліджуючи зносотривкість за методикою закріпленого абразиву, використовували абразивний круг із електрокорунду середньом'якої твердості СМ-2 на керамічній зв'язці 7К15. Діаметр круга 150 мм, ширина 6 мм. Зернистість електрокорунду 250...315 мкм (25А, 25Н). Режим випробувань: лінійна швидкість 0,9 м/с, навантаження $P = 5,4$ Н. Час випробувань 2 год.

Коефіцієнт тертя досліджуваних пар визначали на стандартній установці СМЦ-2 за допомогою індукційного давача з неперервним записом моменту тертя на діаграмній стрічці. Шлях тертя 1 км. Навантаження змінювалось від 1 до 10 МПа. Схема випробувань зображена на рис.2.14.

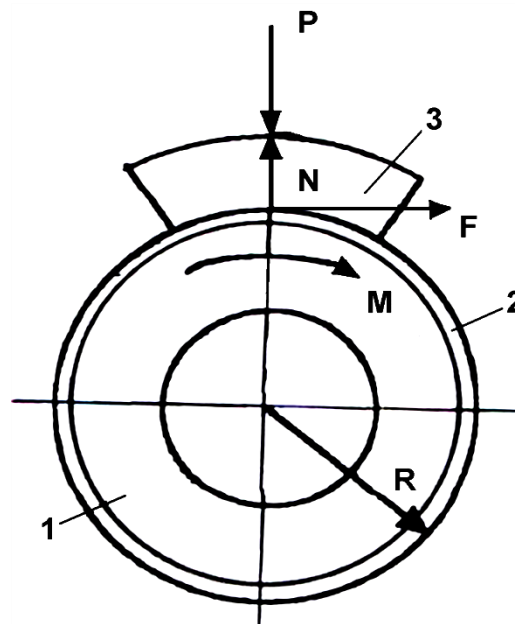


Рис.2.22 - Схема випробувань при терті ковзання; 1 – зразок; 2 – покриття; 3 – контртіло

Для відновлення був вибраний дріт зі сталі 40Х, що забезпечує високу твердість (55 - 60 HRC) після ЕКН.

Розроблена технологія відновлення важко навантажених автомобільних вісей нанесенням композиційного покриття значної товщини

Проведені дослідження показали, що при формуванні покриття товщиною більше 2 мм застосування традиційних дротових матеріалів затруднене. При застосуванні низько вуглецевих дротів забезпечується добре зчеплення з основою та втомний опір, але покриття має не значну зносостійкість через наявність зон знеміцнення. Тому розроблена технологія нанесення багато шарового композиційного покриття. При цьому для формування основи КП методом ЕКН був вибраний дріт Св 08, для нанесення зносостійкого шару вибрано метод ЕКН

2.4. Дотримання норм техніки безпеки при проведенні дослідження

Проведення дослідження по зазначеним вище методикам вимагає застосування різноманітного металообробного обладнання та верстатів. Тому провадження всіх робіт на металообробному обладнанні слід проводити за участю та під контролем кваліфікованих спеціалістів, ознайомившись та дотримуючись всіх вимог з техніки безпеки при роботі на даному обладнанні.

Це підтверджується наявністю фіксації в відповідному журналі проведення інструктажу.

Небезпечними факторами даного дослідження є наявність обертових елементів обладнання, наявність електричного струму, робота з вибухонебезпечними рідинами при виконанні обробки на надзвуковій термо абразивній установці.

При виконанні робіт пов'язаних з застосуванням робіт з абразивними матеріалами, котрі знаходяться під високим тиском, шкідливим фактором є наявність взвішених часток абразивного пилю. Тому в процесі роботи слід контролювати якість роботи та цілісність рукавів камери абразивно-струменевої обробки.

Робота на установці ЕДН передбачає наявність зварювальних аерозолів з вмістом хрому. Такі з'єднання є шкідливими для організму. Тому слід контролювати систему вентиляції установки. Не допускати викидів в атмосферу вказаних аерозолів. Нейтралізація аерозолей здійснюється за

допомогою установки типу Циклон М -23. Слід контролювати вчасне видалення та утилізацію осаджених відходів.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТА

3.1. Порівняльне дослідження зносостійкості зразків

3.1.1. Зносостійкість та вплив питомого навантаження на зміну коефіцієнта тертя при граничному терті.

При дослідженні зносостійкості КП в умовах граничного тертя було встановлено, що найкращі характеристики має покриття з ПП-АН-307+Св-08 (рис.3.1)

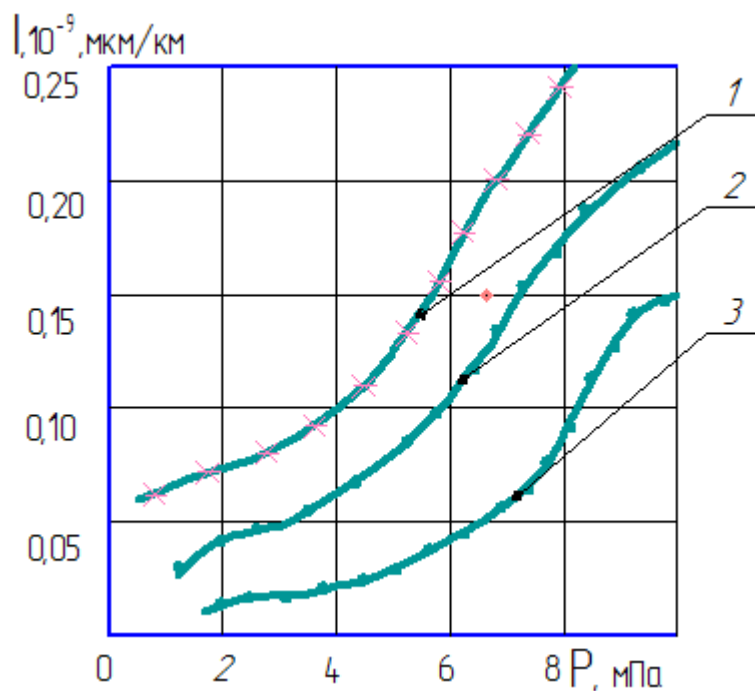


Рисунок 3.1 - Інтенсивність зношення зразків при граничному терті : 1- гартована сталь 45 (еталон); 2 – покриття ЕДН сталь ШХ15 (HRC 60); № - КП ЕКН+ЕДН сталь Св08 + ПП-АН-307 .

Це пояснюється тим, що в процесі шліфування покриттів, нанесених ЕДН , на відміну від матеріалів металургійного походження, відбувається часткове виривання слабо закріплених складових, утворення мікротріщин на межах

ламелів, відкриття пор, які утворились у ламелях при їх швидкому охолодженні та кристалізації на металевій підкладці. Тому, як буде показано нижче, припрацювання електродугових покриттів відбувається дещо по-іншому, ніж суцільних матеріалів.

3.1.2. Дослідження покриттів на абразивну зносостійкість .

Абразивна зносостійкість покриттів при випробуванні незакріпленим абразивом. Встановлено, що зносостійкість покриттів, сформованих із двох різнорідних дротів при випробуваннях незакріпленим абразивом є суттєво нижчою, ніж еталона – сталі ШХ15 (HRC 60), а також покриття, одержаного із серійного порошкового дроту ПП-АН-307 (рис.3.2.).

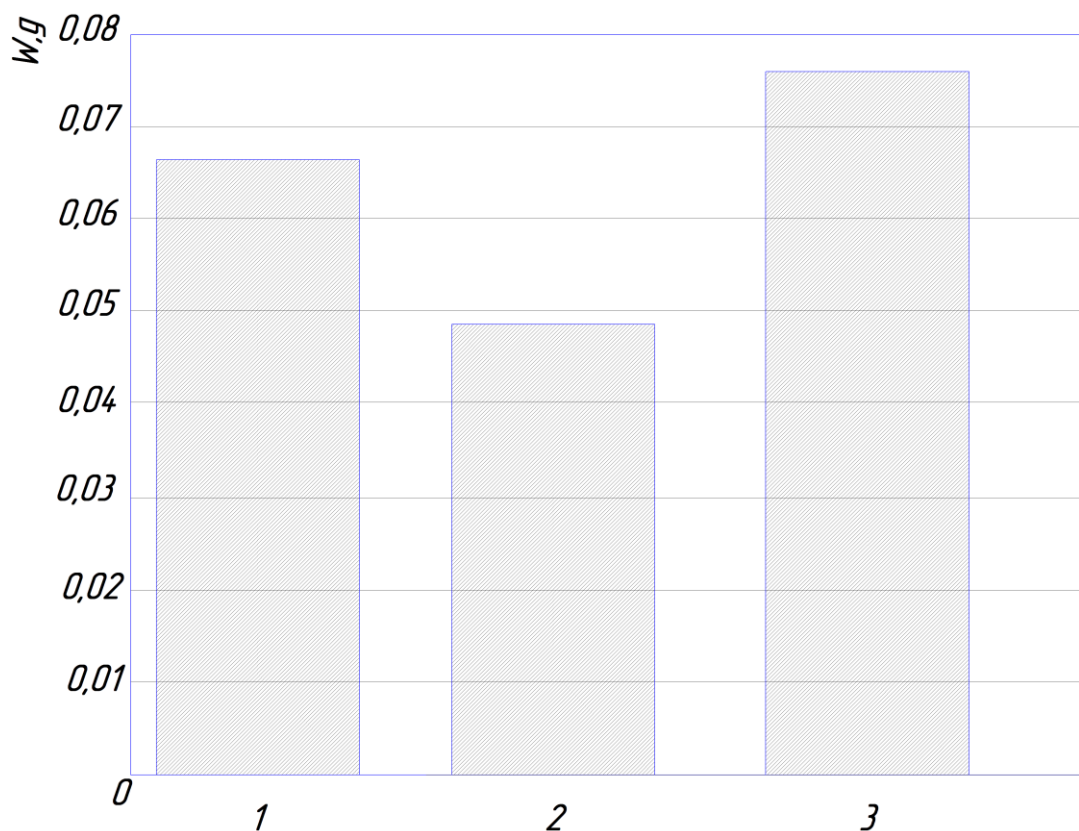


Рисунок 3.2 - Знос зразків незакріпленим абразивом: 1- гартована сталь 45 (еталон); 2 – покриття ЕДН сталь ШХ15 (HRC 60); 3 - КП ЕКН+ЕДН сталь Св08 + ПП-АН-307 .

Невисока зносостійкість досліджуваних покриттів № 3 зумовлена тим, що покриття формується із краплин розплавів ПД і СД. При ЕДН, кожен із дрозів плавиться окремо не формуючи сумісної розплавленої ванни. Покриття складаються із ламелів з високою мікротвердістю 500...600 HV₁₀₀, сформованих із краплин розплаву ПД, ламелів низької мікротвердості – 180...300 HV₁₀₀, сформованих із краплин розплаву СД Св08

При випробуваннях на абразивний знос незакріпленим абразивом в першу чергу зношуються м'які ламелі утворені із розплавів дрозів Св-08 (рис.3.2). Рельєф покриття після досліджень вказує на те, що після зношування м'яких фрагментів, острівці твердої фази виступають із матриці, а потім вириваються з неї (рис.3.3.). Чим нерівномірніший рельєф покриття після випробувань, тим менша його зносостійкість.

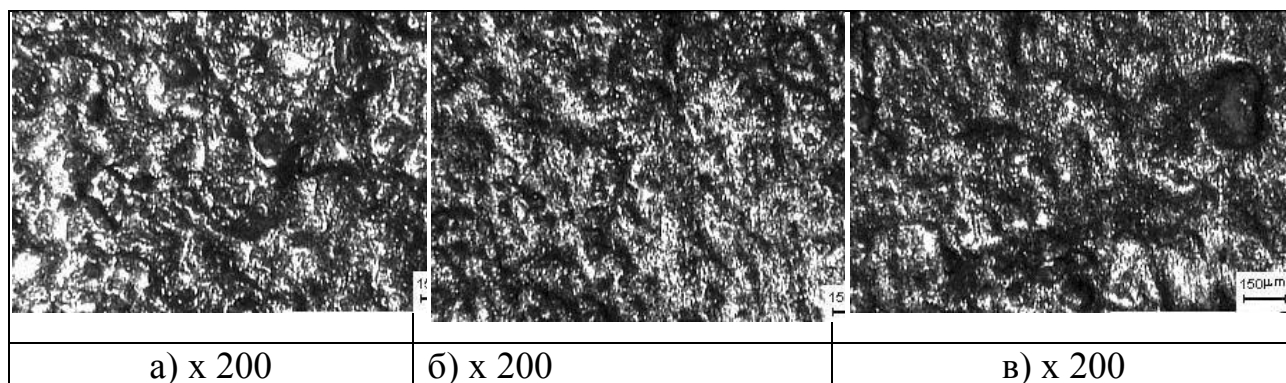


Рисунок 3.3 - Топографія поверхонь тертя покриттів після випробувань незакріпленим абразивом: (а)- гартована сталь 45 (еталон); б) – покриття ЕДН сталь ШХ15 (HRC 60); в) - КП ЕКН+ЕДН сталь Св08 + ПП-АН-307 .

Таким чином, покриття що містить у своєму об'ємі $\approx 40...50\%$ м'якої фази, не може бути достатньо зносостійким за умов зношування незакріпленим абразивом, навіть якщо в структурі є друга фаза з достатньо високою мікротвердістю, а окремі складові покриття містять – спеціальні карбіди $(\text{Fe}, \text{Cr})_7\text{C}_3$ та бориди Fe_2B заліза з мікротвердістю більше 1000 МПа.

Зносостійкість сталі ШХ15 майже в два рази вища, ніж покриття із двох різнорідних дротів.

Абразивна зносостійкість покриттів при випробуванні закріпленим абразивом. Виявлено, що зносостійкість електродугових покриттів із двох різнорідних дротів є суттєво вищою, ніж покриття сталі ШХ15

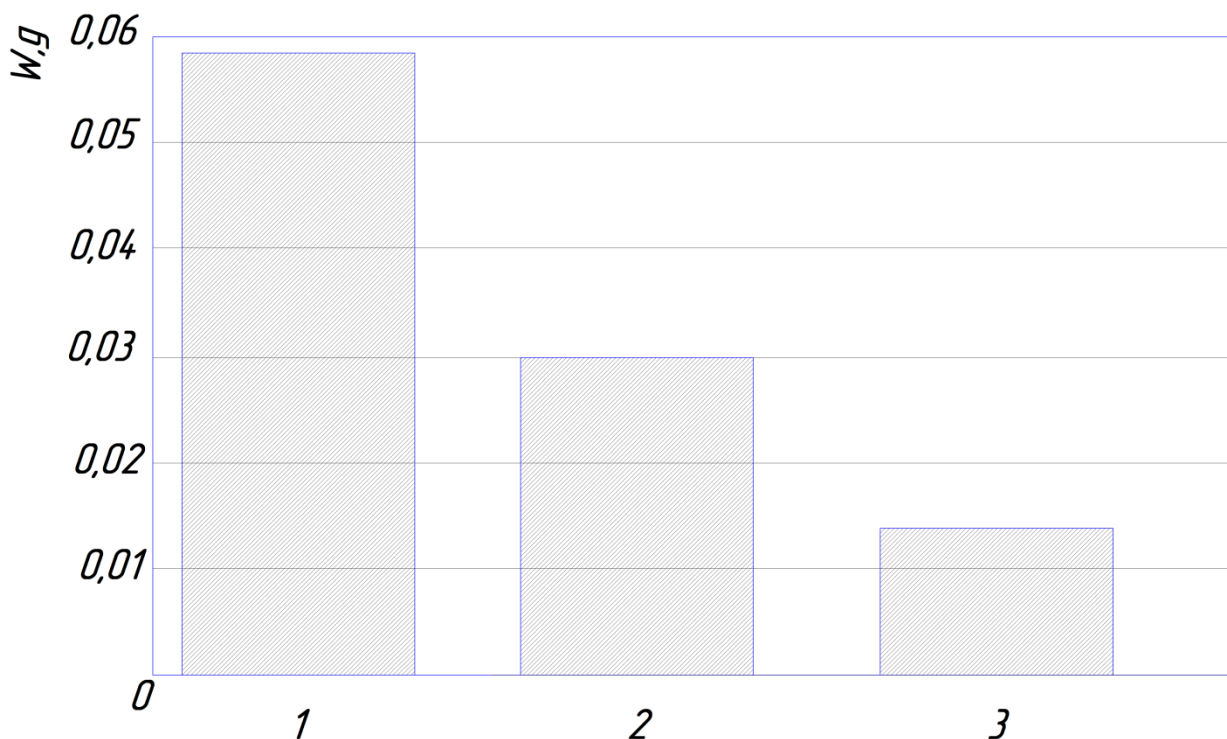


Рисунок 3.4 - Знос зразків закріпленим абразивом: 1- гартована сталь 45 (еталон); 2 – покриття ЕДН сталь ШХ15 (HRC 60); 3 - КП ЕКН+ЕДН сталь Св08 + ПП-АН-307

Встановлено, що серед досліджуваних електродугових покриттів з комбінованих дротів вищу зносостійкість мають покриття сформовані з ПД ПП-АН-305 та дроту зі сталі Св- 08. Це зумовлено наявністю у таких покриттях до 15% оксидів, які суттєво підвищують зносостійкість покриття. Виявлено, що у цьому випадку в зоні контакту (рис.3.5) закріплений абразив зношує покриття

рівномірно, оскільки тверді структурні складові, втілені у м'яку матрицю покриття, забезпечують їх рівномірне зношування.

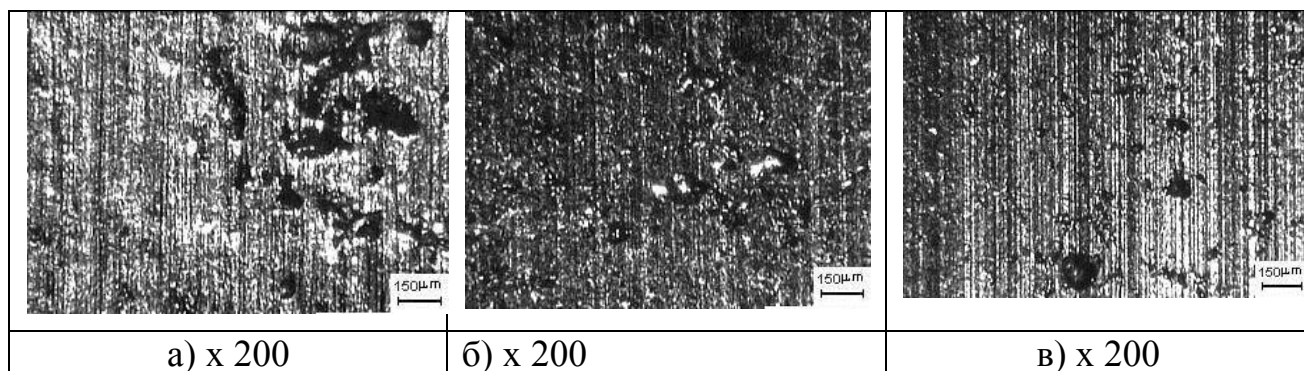


Рисунок 3.5 - Топографія поверхонь тертя покриттів з електродних дротів після випробувань закріпленням абразивом: : (а)- гартована сталь 45 (еталон); б) – покриття ЕДН сталь ШХ15 (HRC 60); в) - КП ЕКН+ЕДН сталь Св08 + ПП-АН-307

Абразивне зерно багаторазово проорює поверхню тертя пластично деформуючи її і відтісняє береги. У цьому випадку зносостійкість покриттів забезпечується високою пластичністю матриці сформованої з дроту Св - 08. Напруження розтягу, що виникають у покритті після напилення частково релаксують у м'які складові. Це саме відбувається і в процесі абразивного зношування. При утворенні подряпин тріщини, які зароджуються на крихких та твердих складових покриття важко розповсюджуються у м'якій матриці. Найвищу зносостійкість із досліджуваних покриттів має покриття сформоване з пар електродних дротів ПП-АН-307 + Св 08 (20%Cr + 0.4% C + 4 % В). Вона є в два рази вища, ніж гартованої сталі ШХ15 (HRC60).

3.2. Дослідження межі витривалості

Одним з найважливіших показників ефективності способу відновлення різних деталей машин, що піддаються дії змінної зовнішньої напруги, служить величина опору втомі матеріалу після відновлення. Втома металу є найбільш поширеною причиною руйнування деталей і механізмів різних машин в результаті дії на них змінної зовнішньої напруги в період всієї експлуатації

деталей машин.

Збільшення опору втомі відновлюваних деталей машин є одному з основних завдань в області підвищення надійності і довговічності деталей. Дослідження, проведені різними ученими, дають можливість встановити вплив різних чинників на межу витривалості деталей. Більшість авторів указують на зниження межі витривалості в результаті відновлення ЕКН.

Використання різних присадних матеріалів (стрічки, дроту, порошкового дроту) також впливає на показники межі витривалості.

Як показано на малюнку 3.6, результати випробувань на опір втомі деталей машин з покриттям, отриманим контактним приварюванням дроту.

Аналіз отриманих графіків на малюнку 3.6 показав, що межа витривалості зразків з покриттями менше зразків з гартованої сталі 45 ГОСТ 1050-88 (на 18-23 %). Це говорить про те, що нові деталі з поверхневим гарту мають значно більшу межу витривалості, чим відновлені деталі.

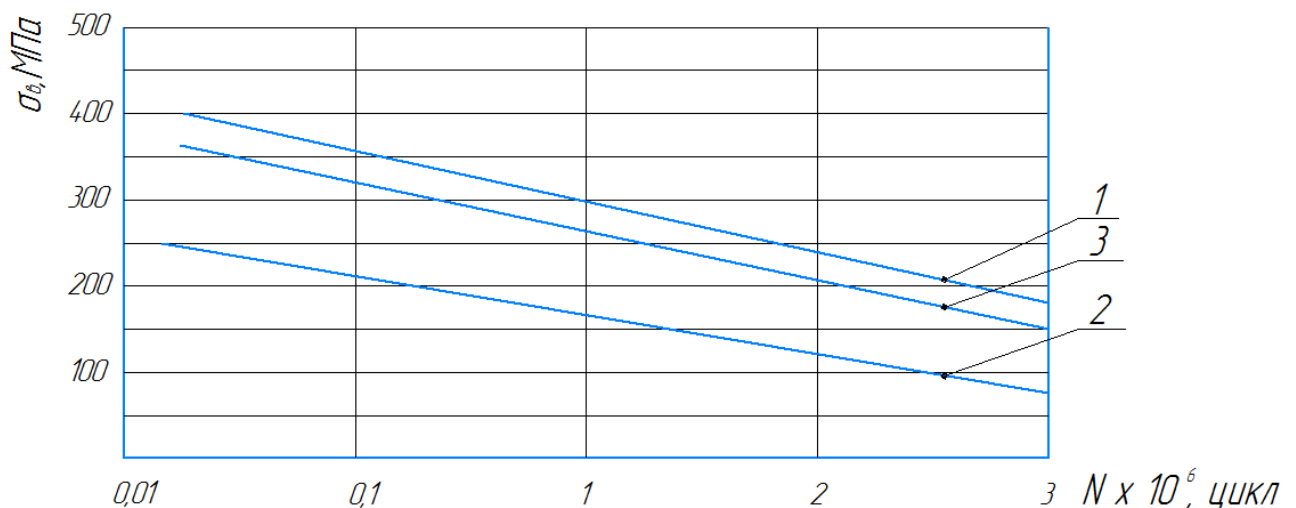


Рисунок 3.6 - Результати проведених випробувань на опір втомі зразків: 1 - гартована сталь 45 (еталон); 2 – покриття ЕДН сталь ШХ15 (HRC 60); 3 - КП ЕКН+ЕДН сталь Св08 + ПП-АН-307

Безпосереднє охолодження зони приварювання зменшує значення межі витривалості валів з покриттям з дроту на 26 % і 31 % в порівнянні з відповідними покриттями, які отримані без охолодження. Можна це

пояснити різким збільшенням твердості відпущених і загартованих ділянок, як в основному металі, так і в покритті, які збільшують структурні концентратори внутрішньої напруги.

У таблиці 3.1 представлені показники опору втомі валів з покриттям, отриманим різними видами приварювання з використанням однакових методик

Таблиця 3.1 - Показники опору втомі дослідних зразків з покриттям

№ п/п	Вид зразків	Межа витривалості, МПа
1	Зразок гартованої сталі 45 (еталон)	400
2	Зразок з покриттям ЕДН дротом зі сталі ШХ15 (HRC 60)	270
3	Зразок з КП ЕКН дротом Св08 +ЕДН сталь Св08 + ПП-АН-307	370

Як видно з таблиці 3.1, зразки з покриттям, отриманим ЕКН мають межу витривалості на 20-50 % менше ніж з загартованою сталлю 45, при цьому охолодження найзначніше знижує значення межі витривалості в порівнянні з помірнішим охолодженням. Зменшення значень межі витривалості після контактного приварювання пояснюється, особливостями структури основного металу і можливими мікродефектами привареного шару.

РОЗДІЛ 4.

ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

4.1. Технологічні рекомендації, що до застосування результатів дослідження при відновленні цапф балок автомобілів

В роботі для розрахунку технологічних режимів ЕКП (величина струму, тривалість його протікання, тривалість імпульсу, тиск електроду) визначали геометричні розміри одиничного майданчика наплавленого металу залежно від діаметру деталі і властивостей присадного матеріалу. На основі моделі нагріву одиничного майданчика металу з урахуванням об'єму присадного і основного металів, що нагріваються до температури плавлення T_n одиничним імпульсом струму наплавлення з урахуванням теплопровідності основного металу визначали кількість тепла Q , необхідного для нагріву об'єма металу V_n до температури T_n з урахуванням його теплоємності, теплопровідності і теплообміну з середовищем за час нагріву та значення струму I для конкретного випадку ЕКП, що характеризується конкретними значеннями діаметрів, теплоємностей, питомих вагів, коефіцієнтів температуропровідності та ін.

Для усунення зазначених недоліків розроблена і теоретично-експериментально обґрунтована модель формування зон знеміцнення при ЕКН. Визначено, що при зменшенні швидкості ЕКН і довжини пауз зростає нерівномірність твердості поверхні за рахунок збільшення циклів знеміцнення біля бокових кромek навареного металу.

Установлено, що збільшення витрат охолоджуючої рідини викликає зменшення зон локального знеміцнення, але глибина зміцнення залишається незмінною, що очевидно пов'язано з впливом джоулевого тепла.

Встановлено, що застосування для ЕКН дроту зі сталі ШХ15 доцільне при нанесенні одношарових покриттів, а при нанесенні багатшарових покриттів викликає значне зниження втомної міцності. На нашу думку це обумовлено неоднорідністю структури, котра викликана зонами знеміцнення при наваренні

слідуючих шарів покриття та внутрішніми напруженнями, що виникають при температурному впливі з урахуванням складно легованої структури металу.

Застосування композиційного покриття, при котрому на цапфу наноситься два шари з низько вуглецевого дроту Св08 та послідуєчого напилення тонкого шару зносостійкого покриття, забезпечує релаксацію напружень в покритті і підвищує втомну міцність в порівнянні з високолегованим дротом.

Електродугове напилення покриття з дротів Св08 + ПП-АН-307 забезпечує високу зносостійкість в умовах граничного тертя та в умовах дії закріпленого абразиву, що дозволяє рекомендувати до застосування вказаного технологічного методу при відновлення важко навантажених цапф балок з значним рівнем зносу. Разом з тим наявність в покритті часток з низько вуглецевої сталі Св08 з однієї сторони підвищує трибологічні характеристики покриття, а з іншої сторони знижує стійкість, що до дії закріпленого абразиву. При цьому частка абразиву рухається по шляху меншого спротиву.

ВИСНОВКИ

1. Згідно даних літературного аналізу встановлено, що існує проблема відновлення цапф балок автомобілів. Деталь має значний знос і піддається в процесі експлуатації циклічним навантаженням.
2. Перспективною технологією відновлення такого типу деталей є електроконтактне наварювання дротом. Але шар навареного металу після ЕКН характеризується наявністю зон відпуску в місцях перекриття валиків, що приводить до наявності структурної неоднорідності в навареному покритті, зниження зносостійкості та втомної міцності, особливо при нанесенні багат шарового покриття.
3. Для усунення зазначених недоліків розроблена і теоретично-експериментально обґрунтована модель формування зон знеміцнення при ЕКН. Визначено, що при зменшенні швидкості ЕКН і довжини пауз зростає нерівномірність твердості поверхні за рахунок збільшення циклів знеміцнення біля бокових кромek навареного металу.
4. Установлено, що збільшення витрат охолоджуючої рідини викликає зменшення зон локального знеміцнення, але глибина зміцнення залишається незмінною, що очевидно пов'язано з впливом джоулевого тепла.
5. Для відновлення вибрана дво роликівна схема ЕКН, з під'єднанням живлення до роликів за допомогою мідних шин. В дослідженнях використано дроти Св08, сталі ШХ15, а також покриття, одержаного із серійного порошкового дроту ПП-АН-307.
7. Розроблена технологія відновлення цапф балок композиційними покриттями з застосуванням комбінованої технології
8. Зносостійкість композиційного покриття значно перевищує трибологічні характеристики контрольного зразка з гартованої сталі 45 та покриття з сталі ШХ15 отриманого ЕКН

9. Застосування покриттів знижує втомну міцність деталі, але через значний запас вомної міцності цапф балок цей показник не є критичним, особливо при застосування композиційного покриття.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Восстановление автомобильных деталей / В.Е. Канарчук, А.Д. Чигринец, О.Л. Боляк, П.М. Шоцкий. - М.: Транспорт, 1995. - 304 с.
2. Ремонт машин / Под ред. И.Е. Ульмана. - М.: Колос, 1982. - 446 с.
3. Ремонт машин / Под ред. Н.Ф. Тельнова. - М.: Агропромиздат, 1982. - 580 с.
4. Багатофункціональні електродугові покриття : монографія / М. М. Студент, Г. В. Похмурська, В. М. Гвоздецький [та ін.]. - Львів : Простір-М, 2018. - 335 с.
5. Абразивна зносостійкість та трибологічні характеристики електрометалізаційних композиційних покриттів / М. М. Студент, С. І. Маркович, В. М. Гвоздецький [та ін.] // Фізико-хімічна механіка матеріалів. - Львів :ТзОВ "Простір-М", 2022. - № 1. - С. 90-97.
6. Соловей А.Г., Дубровский В.А. Поверхностное упрочнение деталей машин электроконтактной наплавкой // Тяжелое машиностроение. - 1999. — №11.- С. 11 - 14.
7. Амелин Д.В., Рыморов Е.В. Новые способы восстановления и упрочнения деталей машин электроконтактной наваркой. - М.: Агропромиздат, 1987. — 151 с.
8. Гологан В.Ф., Аждер В.В., Жавгуряну В.Н. Повышение долговечности деталей машин износостойкими покрытиями. - Кишинев: Штиинца, 1979. - 112 с.
9. Елизаветин М.А., Сатель Э.А., Технологические способы повышения долговечности машин. Повышение эксплуатационных свойств и надежности работы машин. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1969. - 400 с.
10. Каракозов Э.С., Латыпов Р.А., Молчанов Б.А. Состояние и перспективы восстановления деталей электроконтактной приваркой материалов. - М.: Информагротех, 1991. - 84 с.
11. Лопата Л.А. Электродуговое припекание дискретных покрытий / Л.А. Лопата, Ю.В. Волков, Т.В. Ворона, А.Е. Соловых // Инжен. поверхн. и

- реновация изделий: Материалы 14-я междун. научн.-техн. конф. «Инженерия поверхности и реновация изделий» 2-6 июня 2014, Свалява – Киев: – С. 63-66.
12. Клименко Ю.В. Электроконтактная наплавка. - М.: Металлургия, 1978. -128 с.
13. Куликов Г.Д. Современные способы восстановления деталей наплавкой. - Челябинск: Южно-Уральское кн. изд-во, 1974.- 182 с.
14. Куприянов И.Л., Геллер М.А. Газотермические покрытия с повышенной прочностью сцепления. - Минск: Навука и тезхніка, 1990. - 175 с.
15. Левин М.И. Восстановление изношенных деталей станков //Машиностроитель.- 1980.-№ 7. -С. 22.
16. Ляшенко Б.А. Підвищення міцності та довговічності деталей машин агропромислового комплексу багатфункціональними покриттями / Б.А. Ляшенко, Є.К. Солових, Л.А. Лопата, В.Є. Марчук // Доп. сесії Наукової ради з проблеми «Механіка деформівного твердого тіла» НАН України, 15–16 жовт. 2008, Полтава. – С. 15-31.
17. Логинов Г.П., Дубровский В.А. Электроконтактная наплавка проволокой - эффективный способ восстановления изношенных деталей машин // Автоматизация и современные технологии. - 1998. - № 7. - С. 10-12.
18. Лялякин В.П. Восстановление и упрочнение деталей машин // Тяжелое машиностроение. - 1999. - № 2. - С. 3-4.
19. Черноиванов В.И., Андреев В.П. Восстановление деталей сельскохозяйственных машин. - М.: Колос, 1983. - 288 с.
20. Шехтер С.Я., Резницкий А.М. Наплавка металлов. - М.: Машиностроение, 1982.-72 с.
21. Электроконтактная наплавка износо - и коррозионностойких материалов/ В.А. Дубровский, И.В. Столяров, В.В. Булычев и др. // Тяжелое машиностроение. - 2000. - № 9. - С. 19-20.
22. Поляченко А.В. Электроконтактная наварка - оптимальный способ восстановления и упрочнения точных деталей машин // Сварочное производство.- 1993.-№6.-С. 9-11.

23. Рекомендации по восстановлению деталей типа "вал" контактной приваркой металлической ленты. - М.: ГОСНИТИ, 1977. - 23 с.
24. Ткачева Е.С., Рогинский Л.Б., Михайлов ВЛ. Восстановление валов электроконтактной наплавкой // Сварочное производство. - 1980. - № 10. - С. 34-35.
25. Каракозов Э.С., Молчанов Б.А., Латыпов Р.А. Электроконтактная наплавка цилиндрических деталей // Судоремонт флота рыбной промышленности. -1982. -№ 49. -С. 30-32.
26. Электро контактная наплавка цилиндрических деталей с применением порошков износостойких сплавов / Э.С. Каракозов, Б.А. Молчанов, Р.А. Латыпов и др. // Автоматическая сварка. - 1987. - № 7. - С. 69-70.
27. Ярошевич В.К., Генкин Я.С., Верещагин В.А. Электро контактное упрочнение. - Минск: Наука и техника, 1982. - 256 с.
28. Дубровский В.А., Булычев В.В. Электроконтактная наплавка проволокой с подплавлением соединяемых металлов // Сварочное производство. - 1998. -№1.- С. 22-24.
29. Каракозов Э.С, Молчанов Б.А., Латыпов Р,А. Подготовка поверхности детали для электроконтактной наплавки // Техника в сельском хозяйстве. - 1980.-№9.-С. 50-51.
30. Формирование покрытий на рабочих поверхностях деталей электроконтактной наплавкой / В.И. Черноиванов, Э.С Каракозов, Б.А. Молчанов и др. // Сварочное производство. - 1986. - № 4. - С. 16-18.
31. Математическая модель формирования разупрочненных зон в электроконтактных покрытиях / В.А. Дубровский, В.В. Булычев, А.И. Пономарев, И.Н. Зыбин // Тр. МГТУ. - 2002. - № 581. - С. 137-144.
32. Новые решения и оборудование в технике электроконтактной наварки проволокой / В.А. Дубровский, В.В. Булычев, СЮ. Петров и др. // Вестник КТПП. - 2001. - № 1 -2. - С 22-23.
33. Аскинази Б.М., Минибаев Г.Г. Восстановление деталей электроконтактной наваркой проволоки в поверхностные канавки // Сварочное производство. -

1986.-№3.-С. 15-17.

34. Дубровский В.А. Восстановление деталей сельхозмашин двухпроволочной электроконтактной наплавкой // Техника в сельском хозяйстве. - 1996. - № 5. -С 38.

35. Дубровский В.А. Восстановление коленчатых валов двигателей легковых автомобилей двухпроволочной электроконтактной наплавкой // Сварочное производство. - 1997. - № 11. - С. 57-58.

36. Дубровский В.А., Булычев В.В. Новое оборудование для электроконтактной наплавки проволокой деталей тел вращения // Технологические методы повышения качества сварных конструкций. - Калуга, 1998. -С. 122-124.

37. Дубровский В.А., Булычев В.В. Головка ГКПО-01 для электроконтактной наплавки и поверхностной закалки деталей тел вращения // Сварочное производство. - 1997. - № 10. -С. 36.

38. Клименко Ю.В, Электроконтактная наплавка (наварка) металлов с плавлением пограничного слоя // Сварочное производство. - 1981. - № 8. - С. 20-21.

39. Расчет геометрических размеров контакта между присадочной проволокой и электродом при электроконтактной наплавке / Л.Н. Соколов, В.Т. Катренко, В.А. Пресняков и др. // Сварочное производство. - 1987. - № 10. - С. 43-44.

40. Дубровский В.А. Расчет температурных полей при электроконтактной поверхностной закалке импульсным током // Тяжелое машиностроение. - 2000, - №7.-С. 31-34.

41. Дубровский В.А., Булычев В.В., Хабаров В.Н. Восстановление деталей путевых машин электроконтактной наплавкой // Путь и путевое хозяйство. - 2001.-№2.-С. 13-15.

42. Дубровский В.А., Булычев В.В., Зыбин И.Н. Влияние диаметра детали на скорость электроконтактной наплавки проволокой // Создание прогрессивных технологий, конструкций, систем и социально-экономические проблемы производства: Тез. докл. ВНТК. - Калуга, 1998, - С. 81.

43. Клименко Ю.В. Электроконтактная наплавка (наварка) металлов с плавлением пограничного слоя // Сварочное производство. - 1981. - № 8. - С. 20-21.
44. Емельянов В.А., Шляпин В.Б. Восстановление валов малого диаметра электроконтактной наплавкой // Сварочное производство. - 1987. - №2. - С. 12 -14.
45. Повышение долговечности машин технологическими методами / В.С. Корсаков, Г.Э. Таурит, Г.Д. Василюк и др. - Киев: Техника, 1986. — 158 с.
46. Дубровский В.А., Булычев В.В., Пономарев А.И. Предотвращение выплесков при электроконтактной наварке проволокой из стали 40Х13 //Сварочное производство.-2003.-№ 6.-С. 12-15.
47. Дубровский В.А., Булычев В.В., Пономарев А.И. Влияние режима электроконтактной наварки на характеристики твердости наваренного слоя // Прогрессивные технологии, конструкции и системы в приборо- и машиностроении: Тезисы докладов ВНТК. - Калуга, 2002. - С. 45 - 46.
48. Дубровский В.А., Булычев В.В., Пономарев А.Р. Выбор методики расчета электрических полей в детали при электроконтактной наплавке // Профессивные технологии, конструкции и системы в приборо- и машиностроении: Тезисы докладов В НТК. - Калуга, 2000. - С. 19.
49. Dubrovskii V.A., Bulychev V.V. Electric resistance surfacing with a wire andwith melting of the metals to be joined *II* Welding International. - 1998. - Vol. 12, № 7. - P. 570-572.