

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ



ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА ТА ТРАНСПОРТУ

КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему:

«Визначення впливу методу підготовки основи на адгезійну міцність
електродугових покриттів при відновленні деталей автомобілів у КАТП
«Агробудавтосервіс»»

Виконав:

магістрант групи АТ-21М Дмитро АНДРУСЕНКО
(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**

Андрусенка Дмитра Олександровича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи «Визначення впливу методу підготовки основи на адгезійну міцність електродугових покриттів при відновленні деталей автомобілів 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 відновлення колінчастих валів електродуговим напиленням в КАТП «Агробудавтосервіс», Багатофункціональні електродугові покриття : монографія / М. М. Студент, Г. В. Похмурська, В. М. Гвоздецький [та ін.]. - Львів : Простір-М, 2018. - 335 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 _____ Андрусенко Д.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

РЕФЕРАТ

Метою даної магістерської роботи є визначення оптимальних методів підготовки поверхонь деталей автомобілів, що мають різні фізико – механічні та експлуатаційні характеристики, при відновленні електродуговим напиленням з забезпеченням необхідного рівня адгезії.

Об'єктом дослідження: процес формування адгезійних властивостей при формуванні покриттів на поверхнях деталей автомобілів з застосування різних технологічних методів.

Предмет дослідження: – залежності, технології та методики формування адгезійних властивостей покриттів різними технологіями.

В першому розділі визначено номенклатуру, фізико – механічні та експлуатаційні характеристики та придатність до відновлення електродуговим напиленням деталей автомобілів, проаналізовані існуючі технологічні методи підготовки поверхні та обґрунтовано напрямки наукових досліджень.

В другому розділі розроблено методику досліджень, визначено технічні засоби та матеріали для дослідження визначених технологічних методів підготовки поверхонь та вибрано обладнання, матеріали і технологію нанесення покриття. Визначено метод і обладнання для контролю адгезії та сконструйовано пристрій для порівняльного контролю міцності зчеплення покриття з основою. Вибрано методику та обладнання для дослідження на втомну міцність.

В третьому розділі визначено мікроструктуру перехідної зони покриття-основа, продуктивність обробки, шорсткість покриття, залежності шорсткості від твердості основи, залежність міцності зчеплення покриття від часу, що минув після обробки та втомну міцність зразків, що піддавалися обробці кожним технологічним методом.

В четвертому розділі розроблено технологічні рекомендації застосування методів підготовки поверхні для конкретних деталей з визначеної номенклатури. При цьому враховувались не лише забезпечення адгезійних властивостей, а й втомна міцність, продуктивність та екологічність.

Кваліфікаційна магістерська робота складається з вступу, 4 розділів, висновків; містить 58 сторінок тексту, 28 рисунків, 4 таблиць.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	3
ЗМІСТ	5
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	7
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМКУ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	10
1.1. Аналіз номенклатури деталей автомобілів, придатних для відновлення електродуговим напиленням	10
1.2. Аналіз методів контролю адгезії	11
1.3. Аналіз технологічних методів підготовки поверхні	12
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕНЬ	18
2.1. Розробка пристосування для отримання дослідних зразків для контролю адгезії	18
2.2. Методика попередньої підготовки зразків	20
2.3. Методика нанесення покриттів	27
2.4. Методика дослідження мікроструктури покриття	35
2.4. Методика дослідження втомної міцності	35
2.5. Дотримання норм техніки безпеки при проведенні дослідження	36
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТА	40
3.1. Дослідження мікроструктури кордону розподілу основа - покриття	40
3.2. Дослідження продуктивності технологічних методів підготовки поверхні	42
3.3. Дослідження залежності адгезійної міцності від технологічного методу підготовки поверхні	44
3.4. Дослідження залежності параметрів шорсткості від твердості поверхні при різних технологічних методах підготовки	46

3.5. Дослідження залежності міцності зчеплення від часу витримки після обробки	47
3.6. Дослідження втомної міцності	48
РОЗДІЛ 4 ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ	51
4.1. Технологічні рекомендації, що до вибору методу підготовки поверхні при відновленні деталей автомобілів.	51
ВИСНОВКИ	52
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	53

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЕДН – електродугове напилення

ЕКН - електроконтактне наварювання

СД – суцільнотягнутий дріт

ПД - порошковий дріт

КП –композиційне покриття

ВСТУП

При проведенні науково-дослідної практики в КАТП «Агробудавтосервіс» було встановлено, що підприємство має розвинений парк металообробного обладнання та персоналом освоєно різноманітні технології відновлення деталей, зокрема електродуговим напиленням покриттів.

Основною спеціалізацією цієї дільниці є відновлення колінчастих валів, але аналіз потреб підприємства та ринку послуг показав необхідність освоєння відновлення широкої номенклатури деталей, зокрема: ступінчастих валів, опорних шийок розподільчих валів, напіввісей, гальмівних барабанів, розтисних кулаків та ін. Всі ці деталі мають різні фізико-механічні характеристики, тому потребують особливого підходу при виборі методу підготовки основи.

Попередня обробка є дуже важливим технологічним фактором, котрий забезпечує міцне зчеплення покриття з основою. При цьому слід враховувати як фізико-хімічні властивості деталей автомобілів, котрі піддаються відновленню так і умови нанесення покриттів.

Метою роботи є визначення оптимальних методів підготовки поверхонь деталей автомобілів при відновленні електродуговим напиленням з забезпеченням необхідного рівня адгезії

В роботі проведено дослідження впливу методів підготовки поверхні на адгезійну міцність: струминно абразивної обробки, дробоструменевої обробки, надзвукової термо абразивної обробки, накатування, нарізання «рваної» різьби та електроерозійної обробки. При цьому на основі літературного аналізу визначено технологічність, екологічну чистоту та інші переваги та недоліки застосування пропонованих методів попередньої підготовки поверхні основи.

Розглянувши руйнівні та неруйнівні методи контролю адгезії визначено, що неруйнівні методи контролю потребують застосування складного обладнання в умовах сертифікованих лабораторій, вибрано метод дослідження в вигляді відриву конічного щтіфта від покриття. Враховуючи, що стандартами чітко не

регламентовано застосування цього методу в дослідженнях, прийнято рішення розробити власний пристрій для контролю адгезії.

Основними факторами, що впливають на адгезію покриттів є шорсткість поверхні для забезпечення механічного зчеплення часток покриття з основою, зварювання аморфних часток покриття з поверхнею та забезпечення міжатомної взаємодії. Тому актуально дослідити вплив цих факторів в залежності від конкретного технологічного методу обробки.

Одним з найважливіших показників ефективності способу відновлення різних деталей машин, що піддаються дії змінної зовнішньої напруги, служити 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. Тому актуально дослідити вплив дослідити вплив методу підготовки поверхні на втомну міцність.

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 зношування» та « Вплив технологічних методів підготовки поверхні основи на адгезійні властивості електродугових покриттів при відновленні деталей автомобілів»

Отже задача провести дослідження та на їх основі розробити технологічні рекомендації по вибору методу підготовки поверхонь деталей автомобілів для відновлення ЕДН з урахуванням їх характеристик та особливостей експлуатації є актуальною для забезпечення ефективності процесу ремонту та технічного обслуговування автомобілів.

РОЗДІЛ 1

ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМКУ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Аналіз номенклатури деталей автомобілів, придатних для відновлення електродуговим напиленням

Аналіз потреб підприємства та ринку послуг показав необхідність освоєння відновлення широкої номенклатури деталей, зокрема: ступінчастих валів, опорних шийок розподільчих валів, напіввісей, гальмівних барабанів, розтисних кулаків та ін. Всі ці деталі мають різні фізико-механічні характеристики, тому потребують особливого підходу при виборі методу підготовки основи.

1.2. Аналіз методів контролю адгезії

Міцність зчеплення покриття з основою є важливою характеристикою ЕДП, оскільки визначає в цілому здатність покриття виконувати свої функції. Тому контроль якості адгезії є важливим елементом технологічного процесу [3, 4, 5, 19, 23,].

Згідно приведеного літературного аналізу визначено розподіл методів контролю адгезії на руйнівні та неруйнівні (рис.1).

Аналіз переваг та недоліків методів контролю встановив, що неруйнівні методи контролю вимагають застосування складного високовартісного сертифікованого обладнання та спеціалізованої лабораторії, що є недоцільним в умовах одиничного та дрібносерійного виробництва.

Серед руйнівних методів контролю найбільш доступним та об'єктивним є метод відриву конічного штифта, разом з тим стандартами не передбачено єдиної методики проведення досліджень, що в свою чергу затруднює проведення порівняльного аналізу з іншими дослідженнями. Крім того не існує строгого

регламенту щодо параметрів та методології дослідження. Тому прийнято рішення розробити пристосування для отримання дослідних зразків для контролю адгезії

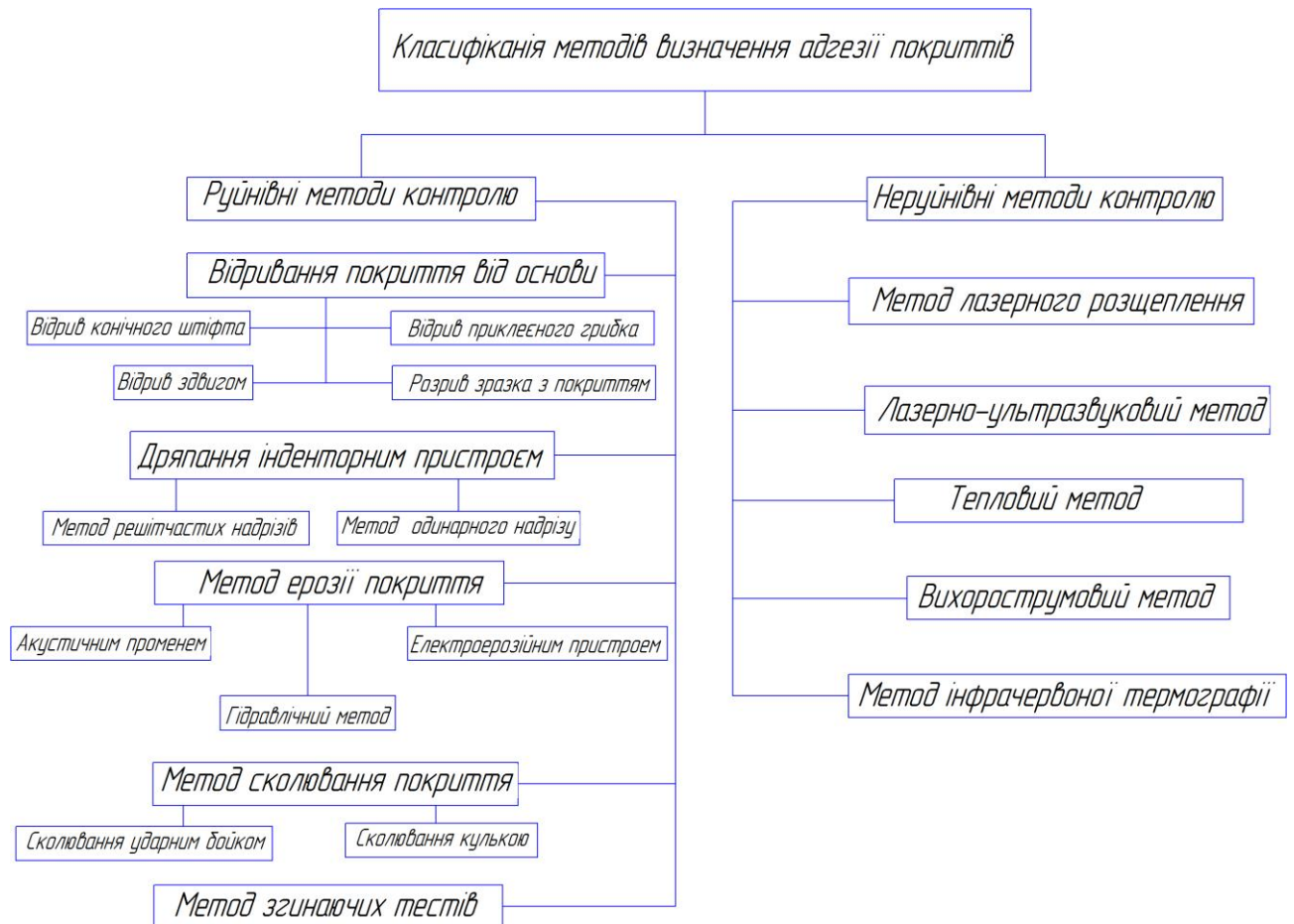


Рисунок 1.1- Класифікація методів контролю адгезії

1.3. Аналіз технологічних методів підготовки поверхні

Серед методів обробки поверхні найбільше розповсюдження набули механічні методи підготовки. Це відбулося завдяки високій продуктивності обробки та простоті обладнання при належній якості обробки. Всі ці методи пов'язані з ударним впливом на матеріал основи і утворення поверхні сколювання, при цьому відбувається створення наклепування поверхневих шарів та певного рельєфу поверхні [4, 5, 18].

Найбільше розповсюдження як операція по підготовці поверхні основи під ЕДН набула струменево абразивна обробка. Такий вид обробки здійснює очищення поверхні, а також виводить поверхню основи із стану термодинамічної рівноваги. При цьому звільняються між атомарні зв'язки поверхневих шарів атомів, тобто відбувається процес активації поверхні. Що правда слід зазначити, що дія такої обробки недовговічна через розсіювання енергії активації, а також через адсорбцію газів з атмосферного повітря та процесів хімічного окислення.

При цьому підвищується шорсткість поверхні основи, що викликає збільшення сумарної площі поверхні на котрій відбувається приварювання аморфних розплавлених електричною дугою часток до поверхні основи. Також відбуваються такі явища як зменшення концентрації мікро виступів та зростає пластична деформація їхніх вершин при напиленні.

Під час струменево абразивної обробки при ударі частинки об основу кінетична енергія становить біля 0,02 Дж, а швидкість польоту частинок піску та дробу діаметром 1 мм становить 120 та 80 м/с, забезпечуючи при цьому шорсткість $R_z = 10...180$ мкм

У процесі обробки змінюють параметри: кут нахилу пістолета до оброблюваної поверхні (45, 60 і 75°); твердість матеріалу деталі; відстань від зрізу сопла пістолета до оброблюваної поверхні (4, 6 і 9 см); число проходів.

В якості абразивних матеріалів застосовують електрокорунд, карбід кремнія, чавунний та сталевий дріб. Розмір абразивних часток при цьому може складати від 0,3— 1,5 мм.

В міру збільшення абразивних частинок за розміром зростає їх кінетична енергія і як наслідок також зростає і шорсткість оброблюваної поверхні. Не зважаючи на те, що кінетична енергія частинок піску та дробу приблизно однакова, шорсткість поверхні сталі 40ХН (HRC 35) після її оброблення дробом майже вдвічі вища, ніж після оброблення піском, що пояснюється формою і ріжучими властивостями абразивних матеріалів.

Гідро абразивна обробка. В основі даної технології лежить принцип

впливу на оброблювану основу ерозійної дії високошвидкісного струменю з води та абразивних часток, при цьому здійснюється відрив та винесення часток оброблюваного металу швидкісним струменем. Основні параметри розход і розмір абразивного матеріалу та тиск і розход води.

В установці, під дією насосу високого тиску, вода під тиском в 4000 атмосфер, подається в сопло де формується високо швидкісний струмінь, котрий в змішувальній камері захоплює абразивні частки і утворює водо абразивну суміш.

Потім суміш розганяється в змішувальній трубці (діаметром біля 1мм) до досягнення над звукової швидкості (близько 900-1200 м/с) і відіграє роль ріжучого інструмента, котрий дозволяє отримувати шорсткість поверхні від Rz 20 до Rz 360 шляхом підбору відповідних параметрів процесу.

Перевагою є висока продуктивність та екологічна чистота, а недоліком значна вартість обладнання.

Надзвукова термоабразивна обробка. Засобом цього виду обробки є високотемпературний надзвуковий струмінь з частками абразиву. При цьому способів надзвуковий абразивний струмінь утворюється продуктами згорання і абразивом.

Повітря під тиском в 0,7 і розходом в 4,5 -7,0 м³/хв подається одночасно в бак з абразивними матеріалами, паливний бак та реактивний пальник, в котрому паливо згорає і утворює газовий струмінь. Струмінь має на виході розгінного каналу пальника швидкість біля 1000 м/с і температуру близько В реактивній горелке топливо сгорает, образуя газовую струю, имеющую в выходном сечении разгонного канала скорости порядка 1000 м/с и температуру близько 1400 К.

Потужність газового струменя залежить від кількості палива, що згорає, і регулюється паливним краном на реактивному пальнику. У середньому витрата палива становить біля 9 л/год. Газовий струмінь за рахунок ежекційного ефекту залучає в абразивні частинки і розганяє їх до 100—300 м/с, що в 2,5—5 разів вище за швидкість ніж при абразиво струминній обробці. Відповідно, енергія

абразивних частинок також зростає. За використання надзвукового термоабразивного оброблення швидкість польоту частинок піску зростає до 200 м/с, а кінетична енергія – до 0,08 Дж., при цьому шорсткість поверхонь суттєво зростає (на 50...70 %), причому за використання як піску, так і дробу з продуктивністю біля 0,4 м²/хв, або 100 м² за робочу зміну [4, 47].

Переваги термо абразивного методу в порівнянні з традиційними піскоструминними способами: продуктивність вище в 2-3 рази, ніж при піскоструминному процесі; за якістю очищення досягається 1-й ступінь за ГОСТ 9.402-2004; процес супроводжується нагріванням, знежиренням та активуванням основи, що виключає необхідність проведення додаткових операцій знежирення перед проведенням ЕДН; обробка забезпечує високий рівень адгезії для подальшого захисного покриття, що наноситься на неї.

Недоліки технології надзвукової термо струминної обробки: високий рівень шуму від реактивного струменя; висока вартість обладнання (у кілька разів вище, ніж при класичному піскоструминному методі); вибухонебезпечність;

Накатування. Накатка буває прямою та перехресною. Для накочування в різцеву головку супорта верстата закріплюють державку, в якій встановлені для простої накатки один, а для перехресної два ролика з інструментальної загартованої сталі з насіченими на них зубчиками; ці зубчики мають різні розміри та по-різному спрямовані, що дозволяє отримати накатку різних візерунків.

При накочуванні державку з роликом притискають до деталі, що обертається, гвинтом поперечної подачі. Ролики починають обертатися і, вдавлюючись у матеріал деталі, утворюють її поверхні накатку. Вона може бути великою, середньою чи дрібною, залежно від розмірів зубчиків на роликах.

При накочуванні роблять подачу перпендикулярно до осі деталі та вздовж осі. Для отримання достатньої глибини накатки потрібно вести процес в 2-4 проходи.

Правила наочування на початку наочування слід дати відразу сильний тиск і перевірити, чи потрапляють зубчики ролика при наступних оборотах у зроблені ними насічки; ролики повинні відповідати необхідному візерунку деталі; подвійні ролики повинні бути розташовані один під одним; перед роботою потрібно ретельно очистити ролики від залишків матеріалу; під час наочування робочі поверхні роликів слід добре змащувати веретеним або машинним маслом, що викликає необхідність додаткової операції знежирення.

Нарізання «рваної» різьби. Даний технологічний метод доцільно застосовувати при підготовці поверхні деталей типу тіл обертання для нанесення покриттів товщиною 0,5 мм і більше. При цьому забезпечується високі параметри адгезії під час зсуву покриття з поверхнею деталі в основному за рахунок механічного зчеплення.

Параметри процесу: при діаметрі до 20 мм – 0,5 мм; при діаметрі 25-50 мм – 0,8-1 мм; при діаметрі 60-100 мм – 1,5 мм. При проведенні обробки недоцільно використовувати охолоджувальні рідини. При нарізанні рваного різьблення застосовується різець для нарізання зовнішньої різьби з кутом при вершині 55-60° та радіусом заокруглення вершини 03-05 мм. Кут різання 80°. Передній кут різця дорівнює нулю або негативний (2-5°), виліт різця 100-150 мм. Необхідна шорсткість поверхні забезпечується зміщенням різальної кромки різця в нижче осі деталі. Вібрація різця викликає дроблення металу на оброблюваній поверхні, що призводить до шорсткості. При цьому діаметр деталі трохи збільшується через видавлювання металу: при глибині рваного різьблення 0,5 мм та кроці 0,6-0,7 – на 0,2-0,3 мм..

Параметри рваного різьблення рекомендується підбирати експериментально для кожного матеріалу з метою правильного визначення розміру деталі та товщини покриття, що наноситься. Вихід гребенів рваного різьблення на поверхню покриття зменшує працездатність покриття. Крім того, рване різьблення значно знижує циклічну міцність деталей.

Рване різьблення нарізають за один прохід. Різьба при цьому може бути круглою, трикутною із закругленими вершинами, грубою пилкоподібною (рис.

1.3) і рваною напівкруглою. На деталі незначного розміру (діаметром до 80 мм) з наносять трикутне різьблення з глибиною 0,6 мм і з кроком 0,8 мм. При більших діаметрах наносять різьблення з великим кроком та глибиною. Так при діаметрі 250 мм крок 2 мм, глибина – 1,5 мм.

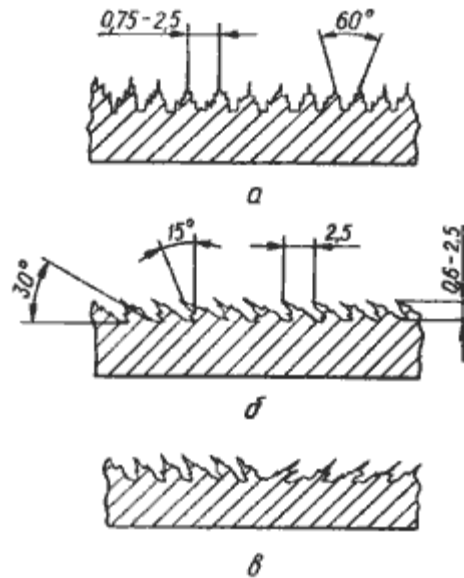


Рисунок 1.2. Різні профілі рваного різьблення: а – гострокутна нарізка; б – пилкоподібна нарізка; в – пилкоподібна нарізка з нахилом витків у протилежні сторони.

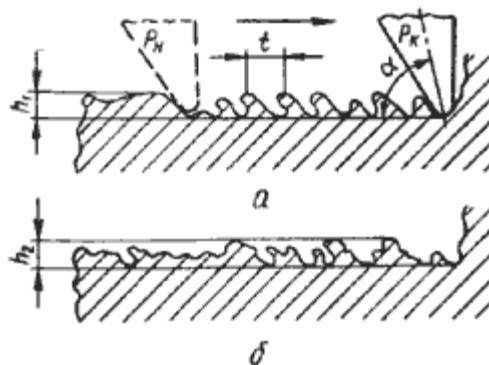


Рисунок 1.3. - Профілі рваного різьблення: а – оптимальний профіль, що забезпечує гарне зчеплення з основою ; б – незадовільний профіль, при якому в

ізолювані та вузькі западини не забезпечать належну адгезію (РН, РК – різець на початку та в кінці обробки; α – кут нахилу осі різця до осі деталі рівний 70-75°; t – крок різьблення; h_1 і h_2 – глибина різьблення (0,5-0,8 мм); стрілкою вказано напрямок руху різця).

Електроерозійна обробка. Застосування електроерозійної обробки надає можливість отримати поверхність з запланованою шорсткістю, завдяки параметрам процесу та формі електроду-інструменту. Однак метод має низьку продуктивність, котру можна підвищити провівши додаткові дослідження та на їх основі внести зміни в конструкцію електроду-інструменту. Параметри процесу та кінематику верстата. Проблемою також є наявність електроліту (як правило масла індустріального І 20, що вимагає додаткової операції обезжирення).

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Розробка пристосування для отримання дослідних зразків для контролю адгезії .

Пристосування (рис.2.1) являє собою корпус 1 типу «ступінчастий вал» з центрувальним буртом та різьбою під стопорну гайку 4. Над центрувальним буртом буртом просвердлено 16 концентричних отворів під установочні штифти 2. Для закріплення зразків 8 передбачена шайба 3 та гайка 4.

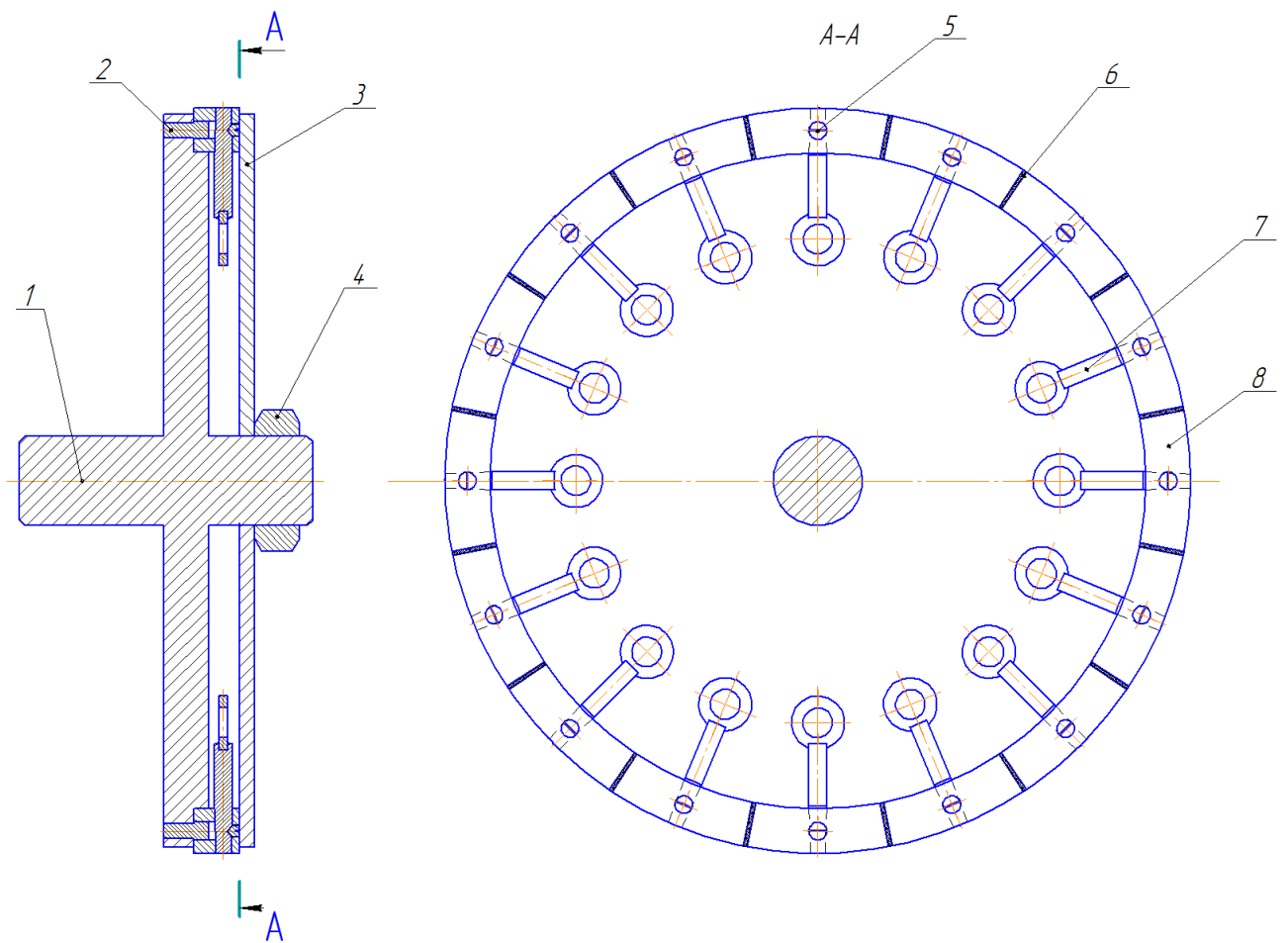


Рисунок 2.1 - Пристосування для отримання дослідних зразків для контролю адгезії: 1- корпус; 2 – штіфт; 3 – шайба; 4 – гайка М 30х2 ГОСТ15522-70; 5 – стопор; 6 – прокладка; 7 - конічний штіфт; 8 – дослідний зразок.

Досліджуваний зразок являє собою сегмент, котрий вирізався з диска товщиною 15 мм, зовнішнім діаметром 250 мм та внутрішнім діаметром 220 мм, що відповідає діаметру центрального бурта (рис. 2.2).

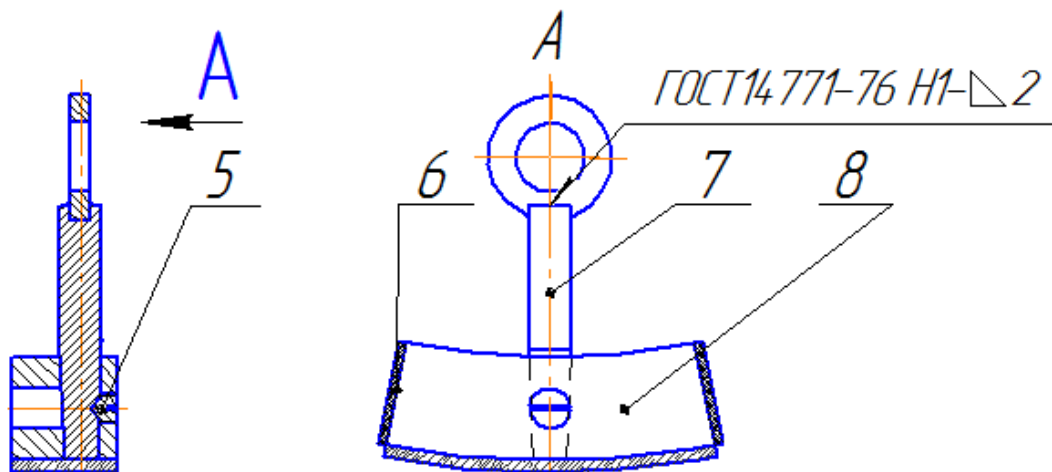


Рисунок 2.2 - Дослідний зразок з покриттям в зборі (нумерація згідно рис. 2.1)

На диску попередньо на координатно-розточному верстаті виконано отвори під штіфт та різьбові отвори під стопор 5. Диск, згідно розмітки, розрізався абразивним диском товщиною 1мм на 16 сегментних зразків. В зразку передбачено отвір для встановлення конічного штіфта 7, при цьому для виготовлення штіфта та зразка використовувався один і той же матеріал з однаковою структурою (сталь 45 ГОСТ 1050-88), точність виготовлення не нижче 12-го квалітету, допуск діаметра конуса в будь якій точці перетину шайби і штіфта відповідно H7 і h7. Виміри діаметру штіфтів проводились з точністю 0,01 мм. Отвір під штіфт оброблявся розгорткою, а потім штіфт притирався до отвору за допомогою алмазної пасти до стану при якому він щільно входить в отвір. Штіфт та зразок попарно клеймились. При підготовці до обробки штіфт щільно вставлявся в отвір до повного контакту з'єднаних поверхонь, однак під дією власної ваги шайба повинна вільно спадати з штіфта.

Зразки перед випробуванням гартували до твердості HRC згідно регламенту досліджень на вплив твердості на шорсткість при різних технологічних методах підготовки поверхні.

Перед обробкою штифт фіксується гвинтом, що відгвинчується перед випробуванням на розрив. На торці зразка наклеюється гумова прокладка для запобігання напилення кордону між зразками

2.2. Методика попередньої підготовки зразків

Порядок проведення випробувань. Дослідні зразки в зборі одягаються на штифт 2 з центруванням по буртику корпуса 1 та фіксується шайбою 3 шляхом затиску гайкою 4. Корпус затискався в трикулачковий патрон обертального пристрою камери для обробки.

Підготовка поверхні для ЕДН здійснювалась технологічними методами згідно даних літературного огляду (рис.2.3).

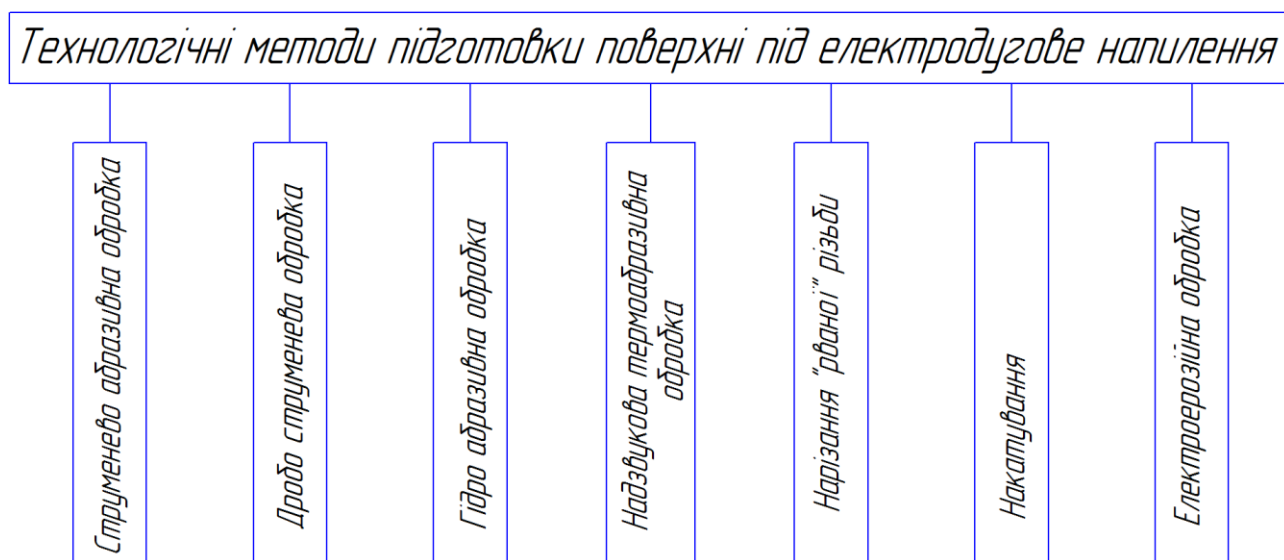


Рисунок 2.3 - Технологічні методи підготовка поверхні під ЕДН

Для поверхонь підготовлених нарізанням «рваної» різьби, накатуванням та електроерозійною обробкою застосовувалась додаткова дробо струменева обробка.

Для підготовка поверхні для ЕДН застосовувалось слідуюче технологічне обладнання та режими обробки.

Абразивно струменева та дробо струменева обробка. При застосуванні обох методів обробка зразків відбувалася в проводиться в абразивно струменевій камері SSK-2,5 (рис.2.4).

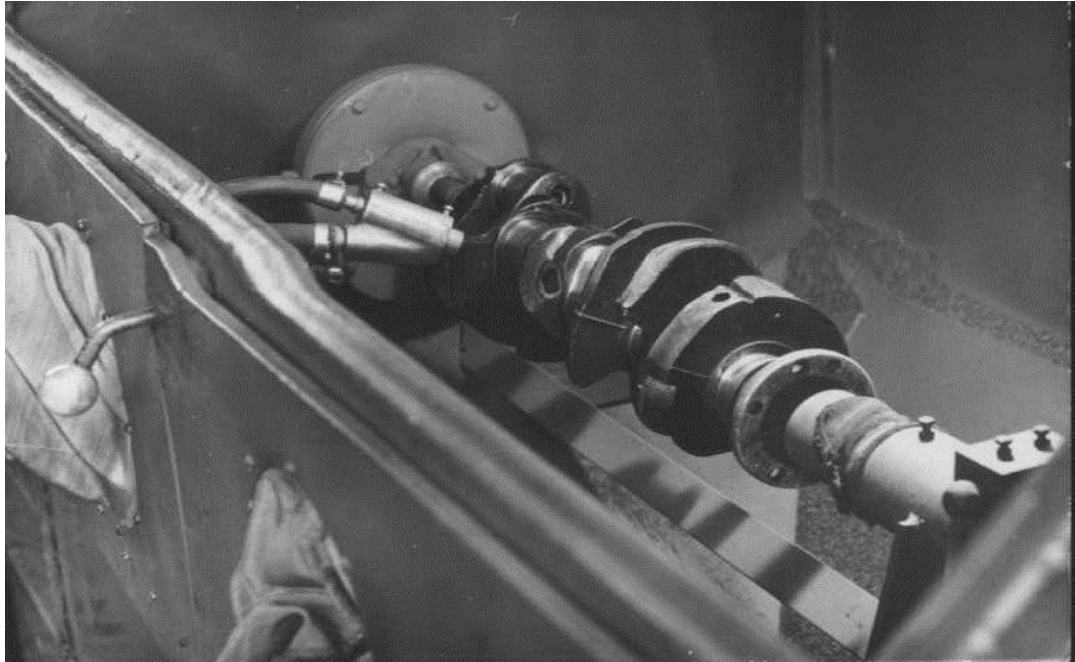


Рисунок 2.4 - Камера дробоструменевої обробки

Камера складається з корпусу, патрона, приводу обертання деталі, пістолета, задньої бабки, ежектора, панелі управління гумових рукавів. Камера являє собою металевий корпус з верхньою кришкою, що служить для встановлення деталі і має оглядові вікна. Деталь кріпиться в патроні горизонтально і фіксується задньою бабкою. Обробка проводиться за допомогою пістолета, подача абразивного матеріалу здійснюється ежекторним способом.

В першому випадку в якості абразивного матеріалу застосовувалось шліфувальне зерно електрокорунду нормального 15А (ГОСТ 2МТ-715-84), а в другому випадку чавунний колотий дріб ДЧК 1,4 (ГОСТ 11964-81Е). В подальшому проводились дослідження по застосуванню для досліджень суміші вказаних абразивних матеріалів з визначенням оптимальної пропорції для

досягнення необхідного рівня параметрів шорсткості. Обробка проводилась до досягнення на поверхні дослідних зразків рівномірного стану шорсткості. Обробка проводилась на слідуючих технологічних режимах: тиск повітря- 0,6 МПа, оберти пристосування з зразками - 10 об/хв., дистанція обробки - 120-150 мм., кут нахилу струминного пістолета 75 - 90°. Після проведення обробки обробки не доцільно доторкатись до підготовлених зразків

Для оцінки якості абразивно струменевої та дробо струменевої обробки застосовувались металеві зразки з еталонними параметрами шорсткості для дробо струминної обробки ОШС-ДС виготовлені згідно з ГОСТ 9378-93.

Гідроабразивна обробка. При проведенні гідроабразивної обробки застосовувалась гідроабразивна установка КГА2-Р-2500, що забезпечує обробку водо абразивною сумішшю під високим тиском (рис. 2.5)



Рисунок 2.5 - Установка гідроабразивної обробки КГА2-Р-2500

Установка додатково оснащувалась пристроєм для забезпечення обертового руху пристосування з дослідними зразками. Обробка проводилась на слідуючих режимах: тиск подачі робочого струменю – 450 МПа, оберти

пристосування з зразками - 50 об/хв, час обробки – 0,8 хв. В якості абразивного матеріалу застосовувався почергово кварцевий пісок, зерно електрокорунду нормального 15А (ГОСТ 2МТ-715-84) та чавунний колотий дріб ДЧК 1,4 (ГОСТ 11964-81Е).

Надзвукова термо абразивна обробка. Для даного виду обробки застосовувалась термоабразивна установка ТАУ-200 (рис. 2.6).



Рисунок 2.6 -Термоабразивна установка ТАУ-200

Установка працює за принципом термо абразивного метода, при цьому на оброблювану поверхню здійснюється одночасний термічний та високо інтенсивний ударно-абразивний вплив надзвуковим дво компонентним високо температурним струменем, котрий складається з газового струменю з продуктів згорання дизельного палива та часток абразивних матеріалів –зерна електрокорунду нормального 15А (ГОСТ 2МТ-715-84) та чавунного колотогодробу ДЧК 1,4 (ГОСТ 11964-81Е). Обробку проводили з застосування камери дробо струменевої обробки, котра піддавалась додатковій шумоізоляції. Режими

обробки: робочий тиск повітря складав – 0,7 МПа, витрата дизельного палива – 9 л/год, витрата стисненого повітря – 300 м³/год, витрата абразивних матеріалів – 280 кг/год.

Нарізання «рваної різьби». Операція проводилась на токарно-гвинторізному верстаті ФТ-11Д з застосуванням різця з твердосплавною пластиною Т5К10 ГОСТ25395-90. При нарізанні рваного різьблення на циліндричній поверхні різець мав кут при вершині 55...60°, радіус закруглення при вершині 0,3...0,5 мм, кут різання 80°, виліт різця з різцетримача 100...150 мм. Різець розташовувався в підпружиненій оправці для надання додаткової вібрації (рис.2.7) Крім того різець розташовувався нижче лінії центрів верстата на 5 мм. Різьбу нарізали з кроком від 0,8 до 1,2 мм за один прохід, при цьому оберти шпінделя складали 100 хв⁻¹. Крім цього були проведені додатково дослідження з впливу активації різьбової поверхні дробо струменевою обробкою.

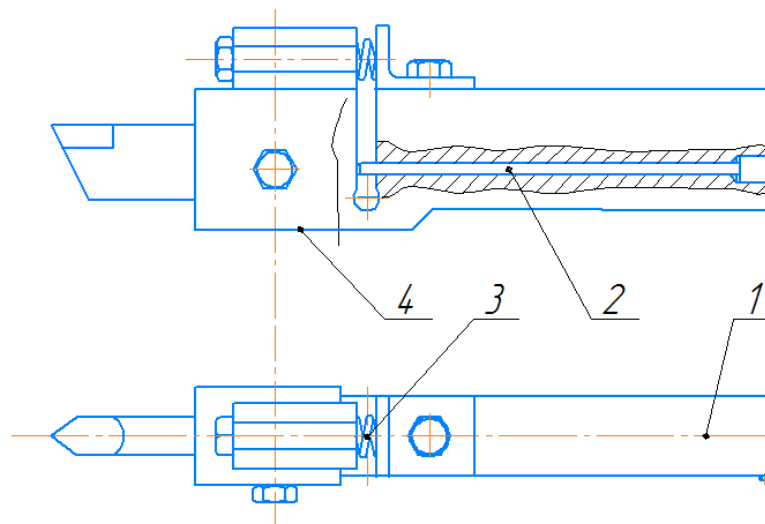


Рисунок 2.7 - Різьбовий різець в підпружиненій державці: 1 - державка; 2- щуп; 3- пружина; 4-різець

Накатування. Накатування проводилина токарно- гвинторізному верстаті ФТ-11Д з застосуванням оправки (рис. 2.8) та накатних роликів GSP – HighTechSaws твердістю 64HRC (рис.2.9). Обробку проводили при обертах 30

хв⁻¹ без застосування мастильно-охолоджуючої речовини до досягнення необхідного профілю. Застосовували різний вид профілів накатних роликів для визначення оптимального виду профілю по рівню зчеплення з основою. Проведені додаткові дослідження з впливу активації накатаної поверхні дробо-струменевою обробкою.



Рисунок 2.8 - Оправка для накатування профілю



a/



б/



в/

Рисунок 2.9 - Накатні ролики з різним профілем: а) прямим;
б) точковим; в) сітчастим

Електроерозійна обробка. Для проведення дослідження використовувався дробово-вирізний верстат струминного типу серії DK77 (рис.

2.10), принцип дії якого полягає у впливі на дослідний зразок іскрових розрядів, що утворюються внаслідок протікання імпульсного струму з високою частотою між електродом-дротом і дослідним зразком, котрі знаходяться в безпосередній близькості один від одного в середовищі рідкого діелектрика. Під дією цих іскрових розрядів з поверхні зразка вибиваються мікрочастинки, котрі видаляються з міжелектродного зазору струменем діелектрика. В якості діелектрика при проведенні досліджень застосовувалось масло індустріальне І 20ГОСТ 20799-88 (кінематична в'язкість $10-4 \text{ м}^2/\text{с}$ при 30°C , температура спалаху 170°). Верстат оснащувався обертовим пристроєм на основі черв'ячного одноступінчастого мотор-редуктора.



Рисунок 2.10 -Електроерозійний дротовий верстат DK77120 Стандарт

Обробку проводили на слідуючих режимах: середнє значення сили струму $I_{\text{сер}} = 500 \text{ A}$; середня напруга пробою $U = 30 \text{ В}$; частота $f = 200^3 \text{ Гц}$; шпаруватість, відношення періоду повторення імпульсів до їх тривалості $q = 1$; енергія імпульсу $A = 15 \text{ Дж}$; час імпульсу $\alpha = 10^{-3} \text{ с}$; швидкість руху інструмента $V_{\text{ін}} = 0,562 \text{ мм/хв}$; час обробки $t_0 = 16,01 \text{ хв}$; продуктивність $Q = 216 \text{ мм}^3/\text{хв}$; шорсткість поверхні $Ra = 35 \text{ мкм}$; швидкість обертання зразка – 20 хв^{-1}

2.3. Методика нанесення покриттів

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. 2.11), котрий було модифіковано для забезпечення можливості здійснювати процес ЕДН дротів що мають різні механічні характеристиками та швидкістю плавлення.



Рисунок 2.11 - Апарат електродугового напилення 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.

В даний апарат електродугового напилення МІГ-2 були внесені слідуючі конструктивну зміни: пристрій було оснащено системою направляючих котрі забезпечували спрямування дроту.

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 дровових 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	
Феросіліційум	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.2.12).

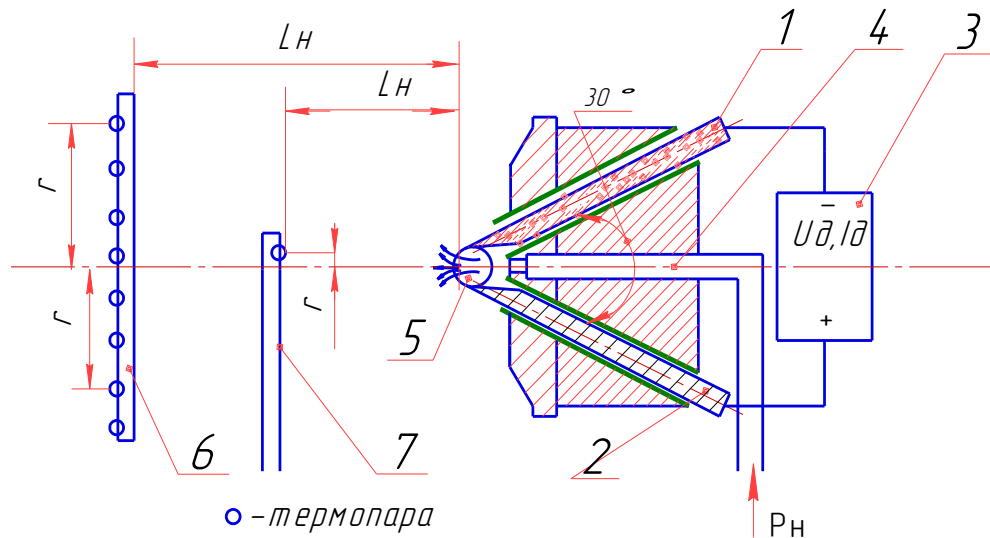


Рисунок 2.12 - Схема процесу ЕДН з застосуванням комбінації електродних матеріалів: 1 –порошковий дріт ПП-АН-307; 2 –суцільнотягнутий дріт Св-08; 3 –зварювальний випрямляч ВС-500; 4 – розпилююче сопло; 5 – зона горіння дуги; 6 - пластина з термопарами; 7 – шток з термопарою; L – відстань від зони горіння 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 розбрикування. 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 розбрикування. Активна пляма дуги на катоді знаходиться, як правило, на краплі, що формується в торцевій кільцевій частині обгортки порошкового дроту.

Пригорінні 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 дрібно дисперсних високолегованих твердих часток розплавленого та розпиленого порошкового дроту та з пластичних часток з розплаву суцільнотягнутого дроту.

Нанесення покриттів проводили після знежирення в мийній камері ТП 50271. 00344 в розчині знежирення, склад якого показано в таблиці 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 2 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 $U = 36\text{В}$, сила струму $I = 200\text{--}220\text{ А}$, дистанція напилення - 100 мм. , обороти V деталі - 36 об/хв , тиск розпилюючого газу $P = 0,05\text{МПа}$, товщина шару покриття - $0,7\text{ мм}$. Другий етап: напилення проводиться не пізніше 30 хв. після чорнового напилення на слідуючих режимах: напруга $U = 24\text{ В}$, сила струму $I = 180\text{--}200\text{ А}$, дистанція напилення 150мм. , обороти V деталі - 36 об/хв , тиск розпилюючого газу $P = 0,4\text{ МПа}$, 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.

Після нанесення покриття пристосування для отримання дослідних зразків для контролю адгезії виймалось з трикулачкового патрону обертача, очищувалось та розбиралось. Дослідні зразки знімались з штифтів і відправлялись на подальше випробування на відрив конічного штифта, котре проводили на розривній машині ІР-М-авто (рис. 2.13)

При проведенні випробування на відрив конічного штифта фіксувались значення P_1 - загальне зусилля, котре необхідно застосувати для відриву штифта, P_5 - сила тертя між конічним штифтом та стінками шайби.

Для визначення P_2 штифт, після визначення P_1 знову вставляли в отвір шайби і повторювали випробування зразка по аналогічній схемі навантаження.



Рисунок 2.13 - Розривна машина IP-M-авто

Відображення результатів досліджень на розривній машині IP-M-авто наведено на рис. 2.14

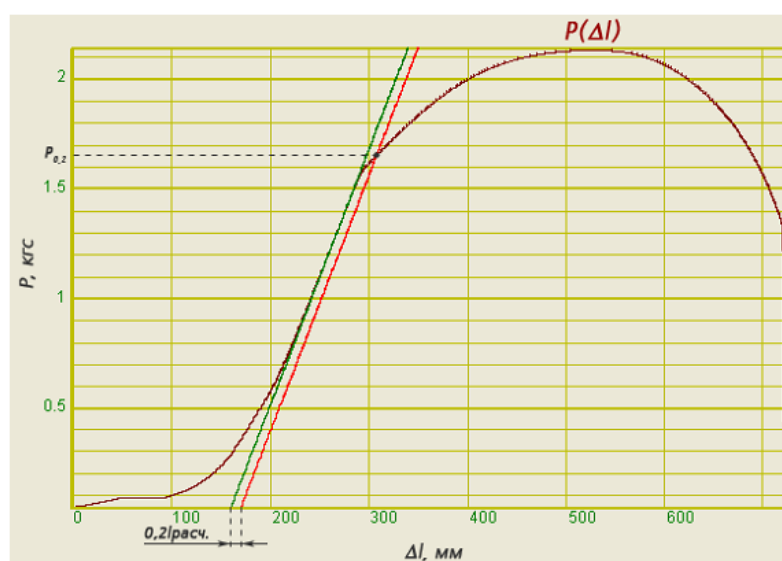


Рисунок 2. 14 -Відображення результатів досліджень на розривній машині IP-M-авто

Для того щоб врахувати дію на кінець штифта відповідного технологічного методу обробки в результаті якого викликає розклепування вершини штифта, що викликає виникнення додаткових сил котрі утруднюють відрив його від шайби, вводилась поправка P_6 . Для її визначення брали партію пристосувань аналогічної схеми, але без покриття і визначали P_4 - зусилля, що необхідне для відриву штифта. Потім штифт знову вставляли в отвір і визначали силу тертя P_5 . Поправку P_6 визначали по формулі:

$$P_6 = P_4 - P_5 (1)$$

Значення підставляли в формулу

$$P = \frac{P_1 - P_2 - P_6}{\pi} (2)$$

Після відриву конічного штифта від покриття проводився огляд його торця. Якщо на більш ніж на 10 % поверхні залишалось невідділене покриття то результат не враховувався. Реєстрація зусилля проводилась з похибкою менше ніж 0,5 %.

2.4. Методика дослідження мікроструктури покриття.

Для проведення дослідження мікроструктури напиленого покриття виготовлялись металографічні шліфи шляхом шліфування торців досліджуваних зразків. Потім, для запобігання завалювання ребер ізбільшення поверхні тертя, дослідний зразок заливали полістеролом в циліндричній оправці. Після цього шліфи піддавалися механічній обробці шляхом дрібнозернистого шліфування та полірування алмазними пастами. Вивчення шліфів проводилось за допомогою растрового електронного мікроскопа JSM - 35 з збільшенням в 400 разів. При цьому здійснювався огляд кордону розподілу між основою сталі 45 та напиленим покриттям, для визначення факторів, котрі впливають на адгезію покриття.

Вимірювання шорсткості обробленої поверхні проводилося за допомогою профілометра моделі 130 (рис. 2. 15).



Рисунок 2.15 - Профілометр моделі 130

Даний профілометр оснащений інформаційно-обчислювальним блоком, що підключеним до комп'ютера і дозволяє здійснювати управління датчиком в процесі вимірювання і обробки сигналу вимірювальної інформації.

Для оцінки мікропрофілю поверхні циліндрів застосовувалися параметри шорсткості, зв'язані:

з висотними властивостями нерівностей (середнє арифметичне відхилення профілю, найбільша висота нерівностей профілю, середнє квадратичне відхилення профілю);

з властивостями нерівностей у напрямі довжини профілю (середній крок нерівностей, середня довжина хвилі профілю, щільність виступів профілю);

з формою нерівностей профілю (відносна опорна довжина профілю).

2.5. Методика дослідження втомної міцності відновлених деталей

Експериментальні дослідження проводили на машині вигину і кручення марки У20, згідно ГОСТ 2860-65. Загальний вид машини для випробувань показаний на малюнку 2.16.



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

Випробування проводили на зразках (рис. 2.17), виготовлені сталі 45 ГОСТ 1050-88, на них напиляли покриття, попередньо обробивши поверхні вказаними вище технологічними методами. Після ЕДН проводили механічну обробку заготовок на універсальному колошліфувальному верстаті марки 3М151 до отримання відповідної шорсткості і номінального розміру.

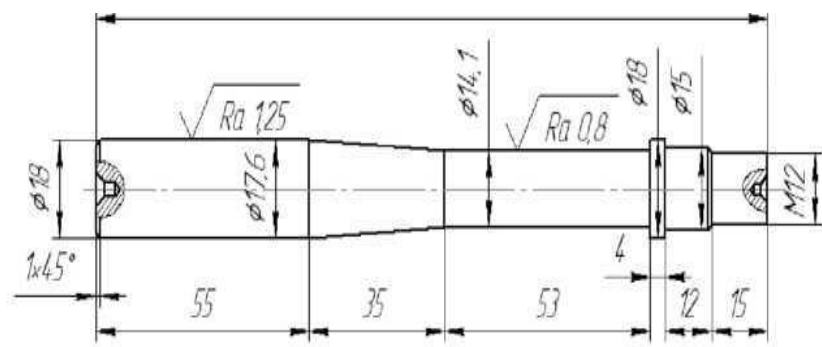
Порівняння наварених заготовок проводилося із зразками, виготовленими із сталі 45 ГОСТ 1050-88 і загартованими до твердості HRC48..50. Випробування заготовок проводилося вантаженням по симетричній схемі вигину двох заготовок з постійним обертанням (рисунок 2.19) на машині У20. При цьому розрахункова 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

$W = \frac{\pi d^3}{32}$ - момент осьовий опору розрахункового перетину, м³;

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



а)



б)

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

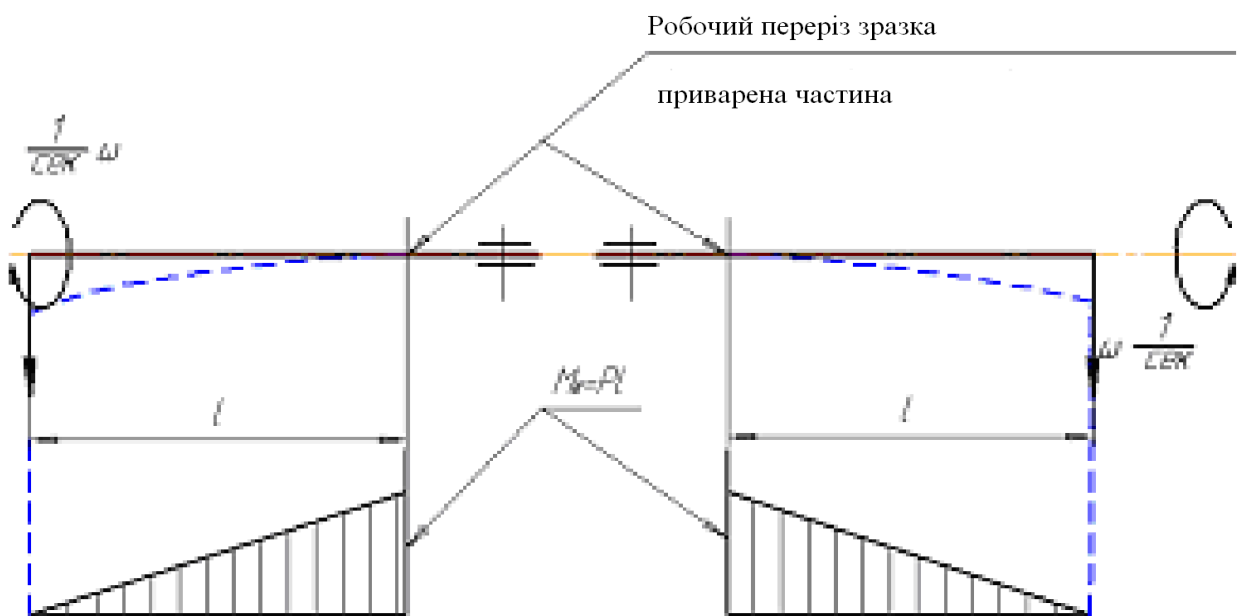


Рисунок 2.18 - Епюра моментів згину і схема навантаження при втомних випробуваннях

2.6. 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 термоабразивній установці.

При виконанні робіт пов'язаних з застосуванням робіт з абразивними матеріалами, котрі знаходяться під високим тиском, шкідливим фактором є наявність взвішених часток абразивного пилу. 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.

При роботі з травильними розчинами слід працювати в витяжній шафі та дотримуватись передбачених стандартами норм безпеки.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТА

3.1. Дослідження мікроструктури кордону розподілу основа - покриття

При дослідженні мікроструктури кордону розподілу встановлено що кордон розподілу покриття основа характеризується складною взаємодією часток напиленого покриття з поверхнею основи. Характер цих взаємодій зображено на рис. 16. Відповідно до наданих даних можна сформулювати загальну картину взаємодій:

в зоні покриття - основа чітко спостерігаються ламелі порошкового та суцільнотягнутого дроту, що формуються відповідно до нерегулярного сходження та розпилення крапель порошкового та суцільнотягнутого дрітів, обумовлених анодним та катодним характером сходження крапель;

поверхня розподілу також містить значну кількість пористих включень та оксидних плівок, що обумовлено утворенням навколо розплавлених крапель матеріалів електродних дрітів оксидної плівки, як результату взаємодії з киснем, що міститься в дво фазному потоці при розпиленні дрітів високошвидкісним струменем повітря;

спостерігаються зони активної адгезії котрі є наслідком приварювання крапель з значною ентальпією та дією сил міжмолекулярної та міжатомної взаємодії (сили Ван-дер-Ваальса), що активовані технологічними методами підготовки поверхонь;

виділяються також зони механічного зчеплення виступів шорсткості покриття з розплавленими аморфними частками порошкового та суцільнотягнутого дрітів.

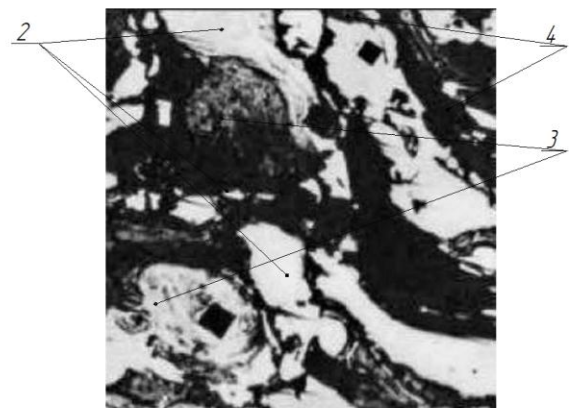
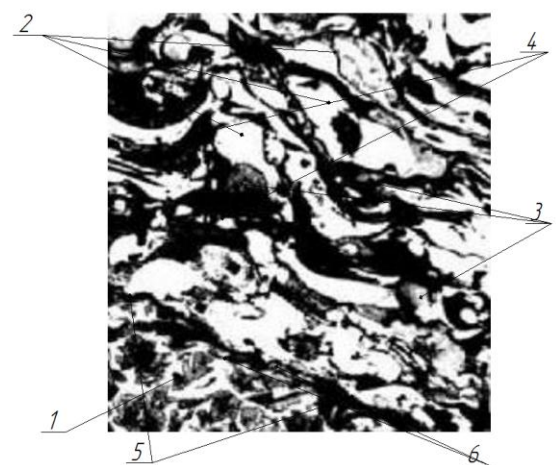
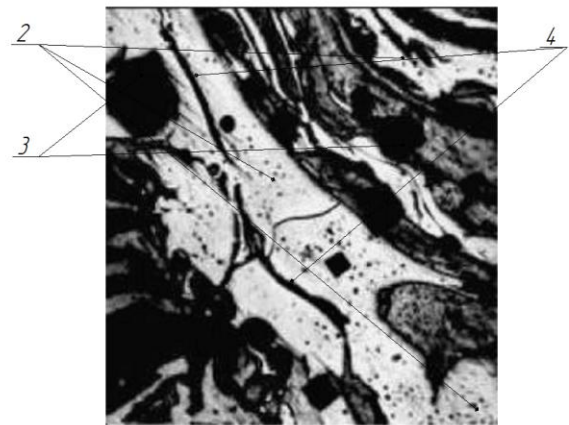
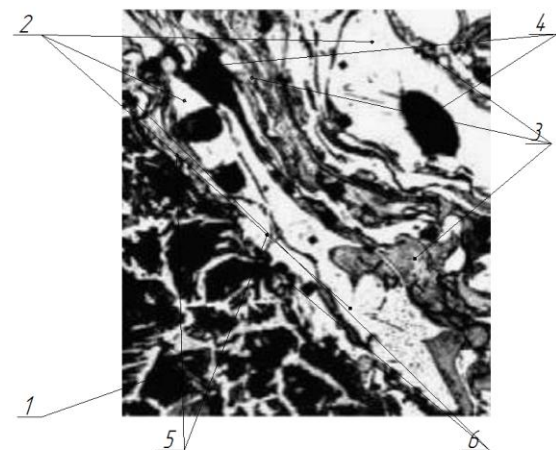
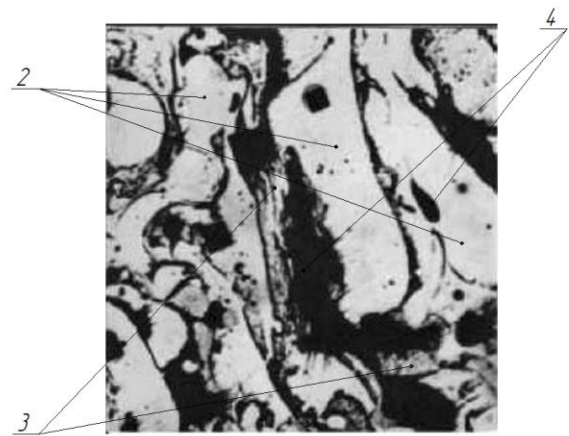
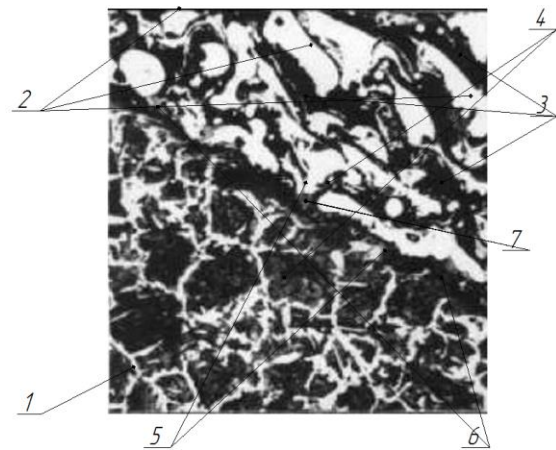
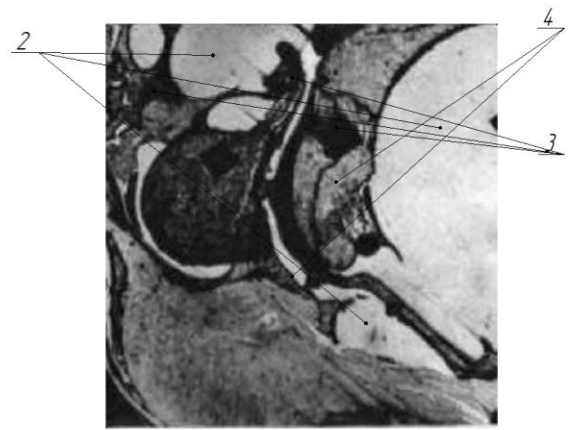
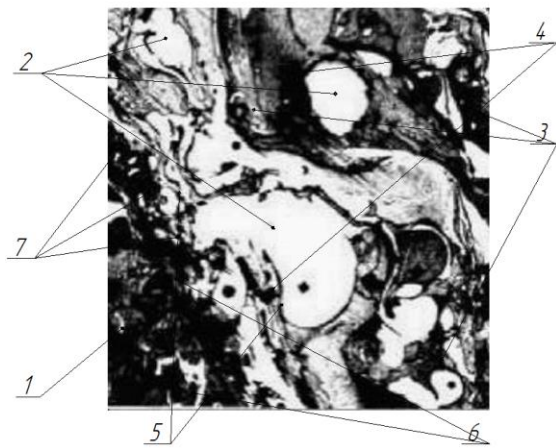


Рисунок 3.1 - Мікроструктура кордону розподілу покриття-основа: 1 - основа (сталь 45); 2 - високолеговані ламелі порошкового дроту ПП-АН-307; 3 – ламелі суцільнотягнутого дроту Св-08; 4 - пористі включення; 5 - оксидні плівки; 6 - зона активної адгезії, 7 - зони механічного зчеплення часток покриття з виступами шорсткості основи.

На основі отриманих даних розроблена узагальнена схема формування перехідної зони основа-покриття на кордоні розподілу з основи (сталь 45) та покриття з порошкового дроту ПП-АН-307 та суцільнотягнутого дроту Св-08

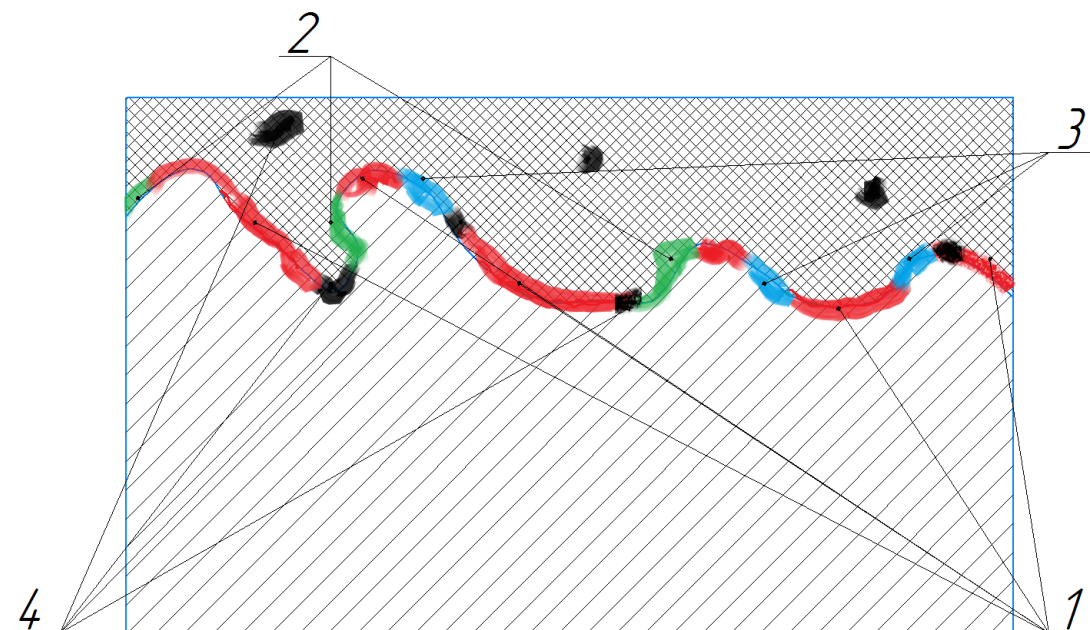


Рисунок 3.2 - Узагальнена схема, що характеризує рівень контактної взаємодії системи покриття – основана кордоні розподілу з основи (сталь 45) та покриття з порошкового дроту ПП-АН-307 та суцільнотягнутого дроту Св-08: 1 - зони активної адгезії; 2 - зони механічного зчеплення часток покриття з виступами шорсткості основи; 3 - оксидні плівки; 4 - пористі включення

3.2. Дослідження продуктивності технологічних методів підготовки поверхні

Проведено визначення відносної продуктивності технологічних методів підготовки поверхні під ЕДН: 1 - струменево абразивна обробка; 2 – дробоструменева обробка; 3 - гідро абразивна обробка; 4 – надзвукова термоабразивна обробка; 5 - нарізання "рваної" різьби; 6 - накатування; 7 - електроерозійна обробка.

В якості еталона та критерія продуктивності взято струменево абразивну обробку. Результати дослідження відображено на рис. 3.3.

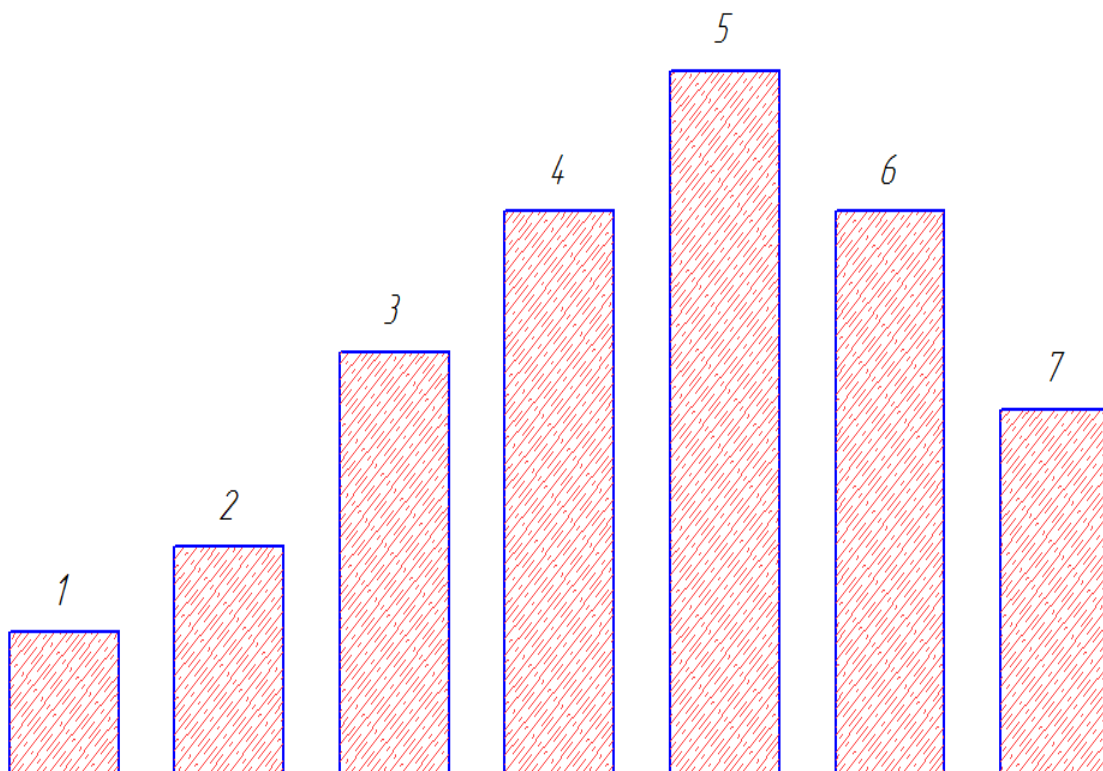


Рисунок 3.3 - Відносна продуктивність технологічних методів підготовки поверхні під ЕДН: 1 - струменево абразивна обробка; 2 – дробоструменева обробка; 3 - гідро абразивна обробка; 4 – надзвукова термоабразивна обробка; 5 - нарізання "рваної" різьби; 6 - накатування; 7 - електроерозійна обробка.

В результаті дослідження встановлено, що продуктивність еталонного методу струменево абразивної обробки є мінімальною, через особливості абразивного матеріалу – піску, ріжучі грані якого заовалюються в процесі

контакту з сталеву основу та дрібною фракційністю зерен. Заміна абразивного матеріалу піску на електрокорунд нормальний 15А (ГОСТ 2МТ-715-84) збільшує продуктивність обробки внаслідок кращих ріжучих властивостей абразивного матеріалу. Відповідно і застосування в якості абразивного матеріалу чавунного колотого дробу ДЧК 1,4 (ГОСТ 11964-81Е) викликає аналогічний результат, при цьому продуктивність процесу зростає майже на третину. Що також є наслідком кращих ріжучих властивостей абразивного матеріалу. При цьому встановлено що при застосуванні всіх трьох абразивних матеріалів продуктивність процесу знижується з часом, очевидно внаслідок завалення та притуплення ріжучих кромки. Цей процес вимагає подальшого дослідження для вироблення рекомендацій щодо періоду відсіювання подріблених дрібних фракцій та повної заміни абразивного матеріалу.

3.3. Дослідження залежності адгезійної міцності від технологічного методу підготовки поверхні

Проведено дослідження залежності адгезійної міцності від технологічного методу підготовки поверхні під ЕДН: 1 - струменево абразивна обробка; 2 - дробо струменева обробка; 3 - гідро абразивна обробка; 4 – надзвукова термо абразивна обробка; 5 - нарізання "рваної" різьби; 6 - накатування; 7 - електроерозійна обробка. Результати дослідження відображено на рис. 3.4.

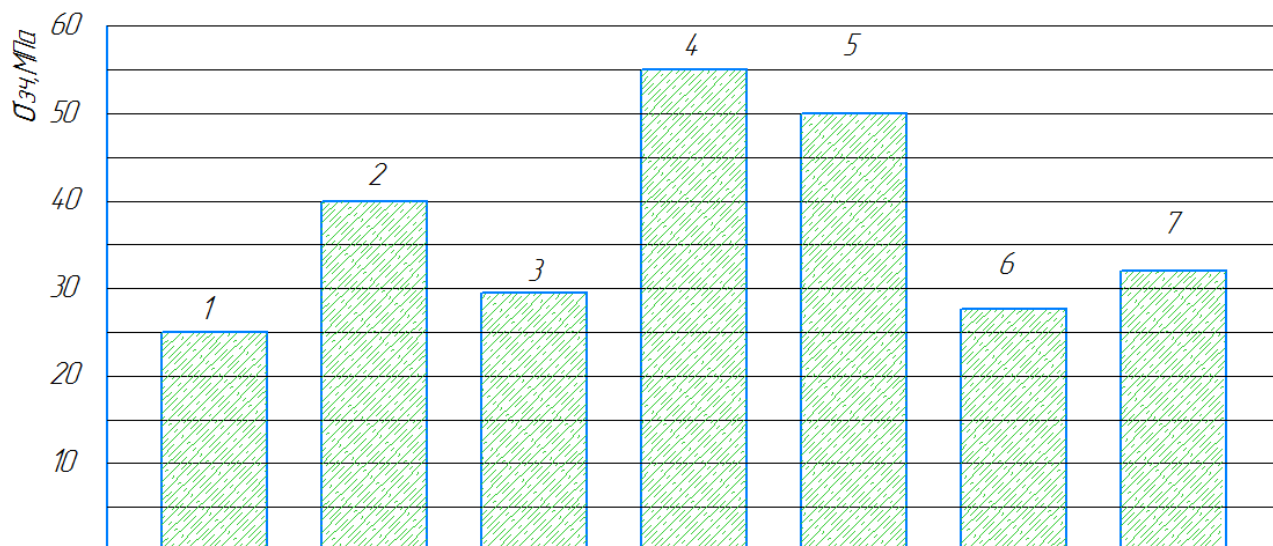


Рисунок 3.4 - Залежності адгезійної міцності від технологічного методу підготовки поверхні під ЕДН: 1 - струменево абразивна обробка; 2 - дрібно струменева обробка; 3 - гідро абразивна обробка; 4 – надзвуковатермоабразивна обробка; 5 - нарізання "рваної" різьби; 6 - накатування; 7 - електроерозійна обробка.

В результаті дослідження встановлено, що струменево абразивна обробка з використанням кварцового піску або електрокорунду нормального 15А (ГОСТ 2МТ-715-84) забезпечує міцність зчеплення $\sigma_{зч}$ до 25 МПа очевидно за рахунок активації поверхневого шару та забезпечення механічного зчеплення з аморфними частками.

Застосування дрібно струменевої обробки підвищує міцність зчеплення $\sigma_{зч}$ до 40 МПа, що очевидно обумовлено зростанням механічного зчеплення з аморфними частками розпилених електродних дротів завдяки підвищенні шорсткості поверхні за рахунок кращих ріжучих властивостей колотого дробу, меншою схильністю до заовалення ріжучих кромek та більшою кінетичною енергією удару частинки.

Гідро абразивна обробка забезпечує міцність зчеплення $\sigma_{зч}$ до 30 МПа, що також обумовлено властивостями абразивного матеріалу – піску. Високий тиск

двох фазного струменю при обробці забезпечує зняття шару металу основи, активує поверхню, але не забезпечує належної шорсткості поверхні.

Надзвукова термо абразивна обробка забезпечує найвищий рівень адгезії підвищуючи міцність зчеплення $\sigma_{зч}$ до 55 МПа. Це обумовлено високими ріжучими властивостями чавунного колотого дробу, дуже високою кінетичною енергією абразивних часток та рівнем активації поверхні. При цьому основним пріорітетом цього методу є висока кінетична енергія абразивних часток, що обумовлена одночасною дією термічного та високо інтенсивного ударно-абразивного впливу надзвуковим дво компонентним високо температурним струменем, котрий складається з газового струменю з продуктів згорання дизельного палива та часток абразивних матеріалів в вигляді чавунного колотого дробу.

Застосування нарізання «рваної різьби» забезпечує високу міцність зчеплення та забезпечує міцність зчеплення до 50 МПа, що обумовлено збільшенням площі поверхні зчеплення та високою розбіжністю параметрів шорсткості. Разом з тим застосування цього методу вимагає додаткового дослідження впливу нарізи на втомну міцність і на нашу думку може застосовуватись для деталей з значним запасом втомної міцності.

Застосування накатування забезпечує міцність зчеплення до 27 МПа, при цьому найкращий результат забезпечують ролики з подвійною нарізкою №3, згідно наведеної вище методики.

Електроерозійна обробка забезпечує адгезію більше 30 МПа завдяки параметрам шорсткості.

3.4. Дослідження залежності параметрів шорсткості від твердості поверхні при різних технологічних методах підготовки.

При цьому найбільшу залежність від твердості поверхні основи мають слідуєчі методи: нарізання «рваної» різьби та накатування, що обумовлено фізико механічними характеристиками ріжучого інструменту. Абразивні методи обробки мало залежать від твердості основи через властивості ріжучих

матеріалів. Разом з цим зростає частота заміни абразивних матеріалів. При електроерозійній обробці твердість основи на характеристики процесу не впливає.

Результати дослідження відображено на рис. 3.5.

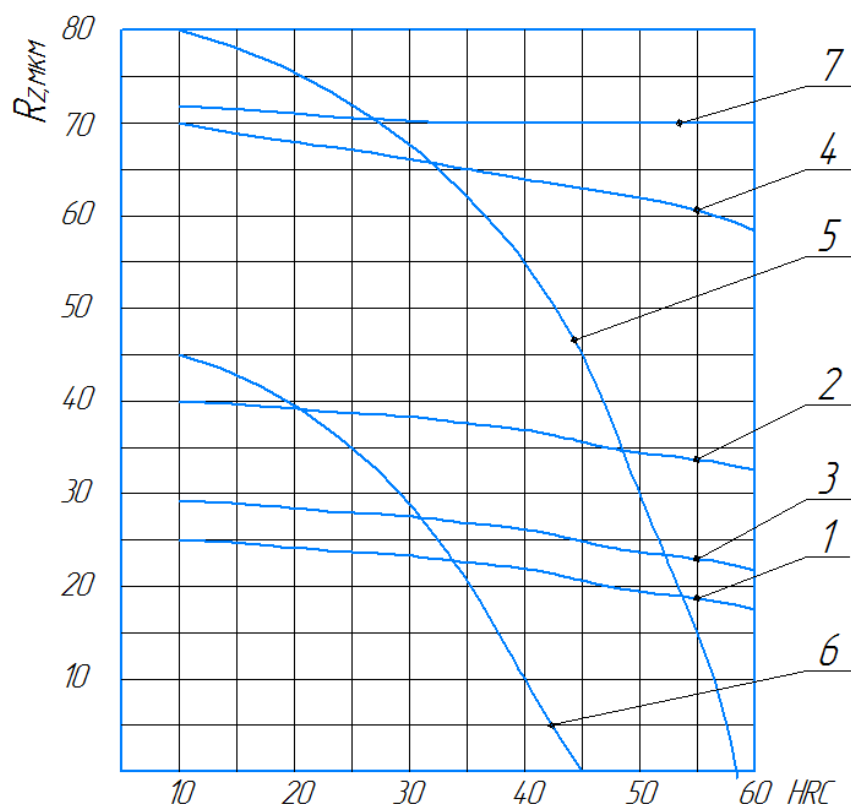


Рисунок 3.5 - Залежність параметрів шорсткості від твердості поверхні при різних технологічних методах підготовки: 1 - струменево абразивна обробка; 2 - дробо струменева обробка; 3 - гідро абразивна обробка; 4 – надзвуковатермоабразивна обробка; 5 - нарізання "рваної" різьби; 6 - накатування; 7 - електроерозійна обробка.

3.5. Дослідження залежності міцності зчеплення від часу витримки після обробки

Впроцесі дослідження встановлено, що адгезійні властивості поверхні мають тенденцію до зниження в залежності від періоду часу до початку ЕДН.

При цьому ця залежність менша для методу нарізання «рваної різьби», накатування та електроерозійної обробки (рис. 3.6).

На нашу думку це обумовлено підвищенням енергії активації поверхні основи абразивними методами обробки. Деяке незначне зниження адгезійних властивостей поверхні від періоду часу до напилення для методу нарізання «рваної різьби», накатування та електроерозійної обробки очевидно обумовлено утворенням оксидних плівок на поверхні основи. Це наштовхує на думку про необхідність проведення дослідів, що до додаткової абразивної обробки поверхонь підготовлених цими методами.

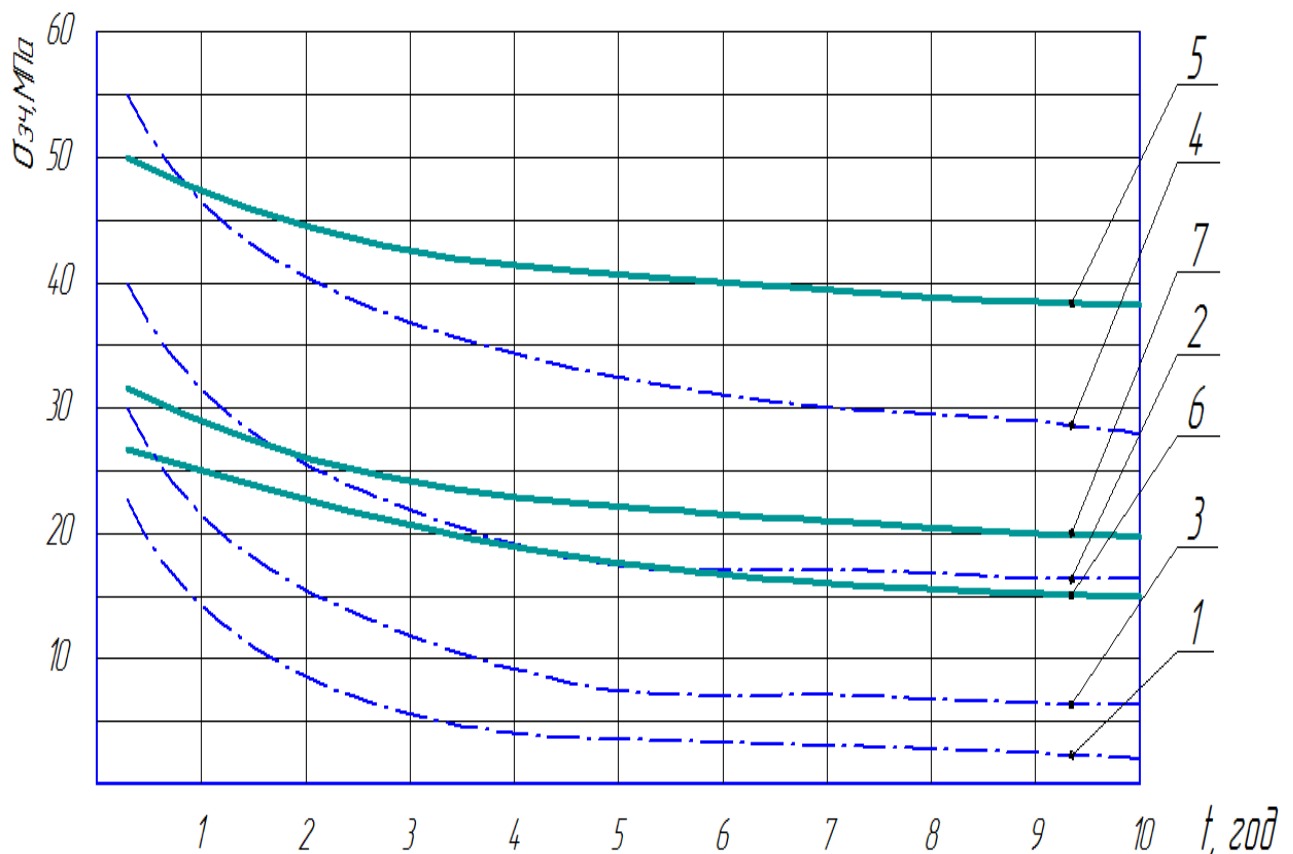


Рисунок 3.6 -Залежність міцності зчеплення від часу витримки після обробки: 1 - струменево абразивна обробка; 2 - дробо струменева обробка; 3 - гідро абразивна обробка; 4 – надзвукова термо абразивна обробка; 5 - нарізання "рваної" різьби; 6 - накатування; 7 - електроерозійна обробка.

3.6. Дослідження втомної міцності

Одним з найважливіших показників ефективності способу відновлення різних деталей машин, що піддаються дії змінної зовнішньої напруги, служити 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.

Аналіз отриманих графіків на малюнку 2.19 показав, що межа витривалості валів, отриманих без охолодження менше межі витривалості самої нормалізованої сталі 45 ГОСТ 1050-88 (на 18.23 %) і набагато менше межі витривалості сталі 45, яка загартована з нагрівом струмами високої частоти (більш ніж в 2,5 разу). Це говорить про те, що нові деталі з поверхневим гартом мають значно більшу межу витривалості, чим відновлені деталі.

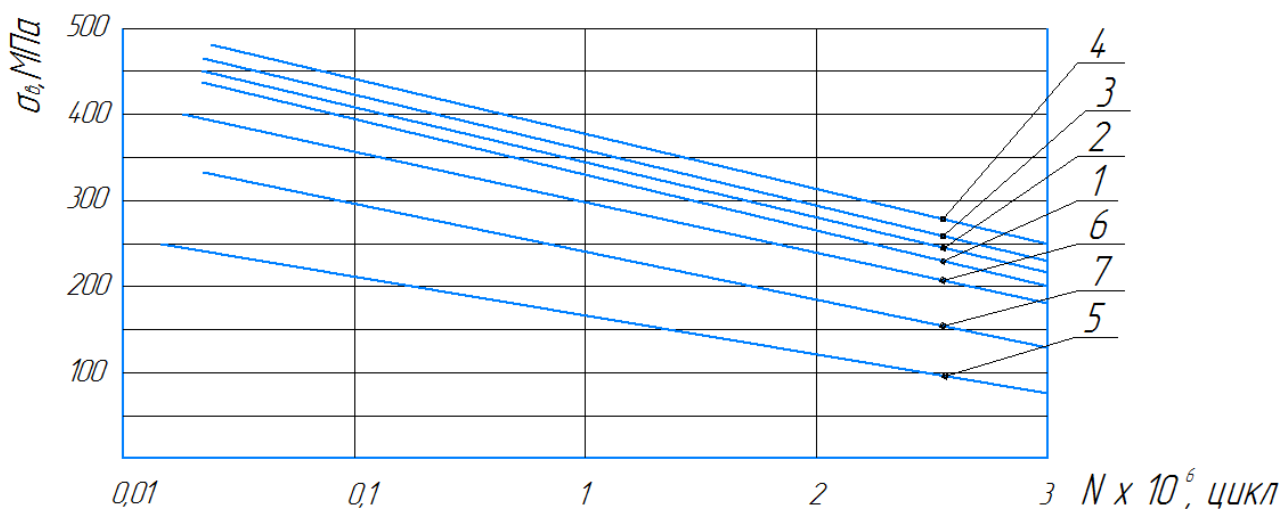


Рисунок 3.7 - Результати проведених випробувань на опір втомі зразків з покриттям, з основою обробленою різними технологічними методами: 1 - струменево абразивна обробка; 2 - дробо струменево обробка; 3 - гідро абразивна обробка; 4 – надзвукова термо абразивна обробка; 5 - нарізання "рваної" різьби; 6 - накатування; 7 - електроерозійна обробка.

Таблиця 3.1 - Показники опору втомі валів з покриттям

№ п/п	Вид зразків	Межа витривалості, МПа
1	Дослідний зразок з абразивно струменевою обробкою	430
2	Дослідний зразок з дробо струменевою обробкою	450
3	Дослідний зразок з гідро абразивною обробкою	465
4	Дослідний зразок з надзвуковою термо абразивною обробкою	480
5	Дослідний зразок з нарізанням "рваної" різьби	250
6	Дослідний зразок з накатуванням	400
7	Дослідний зразок з електроерозійною обробкою	330

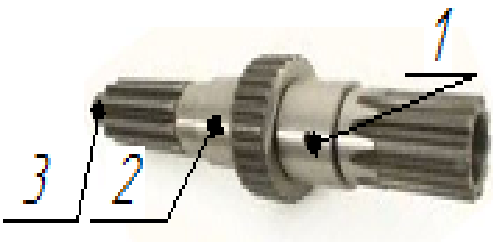
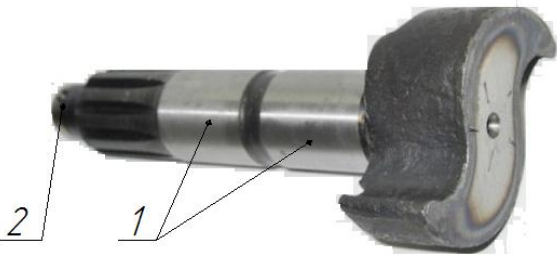
РОЗДІЛ 4

ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

4.1. Технологічні рекомендації, що до вибору методу підготовки поверхні при відновленні деталей автомобілів.

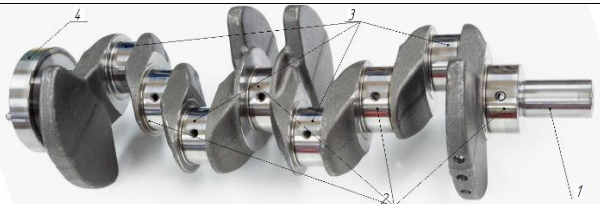
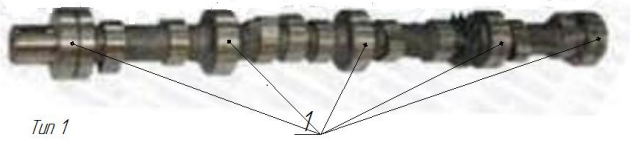
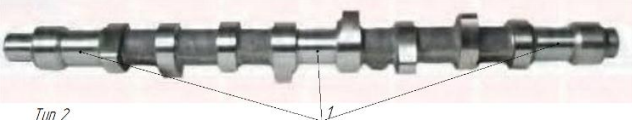
На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень розроблено технологічні рекомендації відображені в таблиці 4.1. При цьому найбільш простим та універсальним методом підготовки поверхні визнано дробо струменеву обробку, котра поступається за продуктивністю та рівнем адгезії надзвуковій термо абразивній обробці та нарізанню «рваної» різьби.

Таблиця 4.1. Технологічні рекомендації, що до вибору методу підготовки поверхні при відновленні деталей автомобілів

Тип деталі	Поверхні для обробки	Рекомендований метод підготовки основи
1	2	3
Ступінчасті вали		Дробо струменева обробка
Розтисні кулаки		Нарізання «рваної» різьби

Напіввісі		Дробо струменева обробка
-----------	--	--------------------------

Продовження таблиці 4.1

1	2	3
Колінчасті вали		Надзвукова термо абразивна обробка
Розподільчі вали		Нарізання «рваної» різьби
		Надзвукова термо абразивна обробка
Гальмівні барабани		Нарізання «рваної» різьби

Тому метод надзвукової термо абразивної обробки як прогресивний та високо продуктивний заслуговує на широке застосування. Але метод характеризується значним шумовим ефектом. Тому необхідно передбачити окреме приміщення та звуко ізольовану камеру для обробки

Для деталей з твердістю до 40 HRC та значним запасом втомної міцності, рекомендовано нарізання «рваної» різьби.

ВИСНОВКИ

1. На основі аналізу потреб підприємства та ринку послуг визначена номенклатура деталей для відновлення: ступінчастих валів, опорних шийок розподільчих валів, колінчастих валів; напіввісей, гальмівних барабанів, розтисних кулаків та ін. Всі ці деталі мають різні фізико-механічні характеристики, тому потребують особливого підходу при виборі методу підготовки основи.

2. Визначено технологічні методи підготовки поверхні при ЕДН.

2. Проаналізовано методи контролю адгезії, визначено метод руйнівного контролю відривом конічного штифта найбільш доцільним в даних умовах.

3. Спроектовано та виготовлено пристосування для контролю адгезії відривом конічного штифта, вибрано обладнання та визначено методику дослідження.

4. Вибрано обладнання для застосування при підготовці поверхні визначеними технологічними методами та параметри проведення процесу.

5. Визначено технологічний метод, обладнання, матеріали та режими нанесення КП.

6. Отримано дослідні зразки з нанесеним КП ЕДН при різних технологічних методах підготовки основи.

7. Виготовлено металографічні зразки та проведено дослідження перехідної зони основа-зразок. При цьому встановлено наявність в перехідній зоні місць механічного зчеплення покриття з виступами шорсткості основи, місця адгезійного схоплення за рахунок приварювання гарячих аморфних часток покриття та сил міжмолекулярної взаємодії Ван-дер-Ваальса.

8. Досліджено залежності адгезійної міцності від технологічного методу підготовки поверхні під ЕДН. Найкращий результат в 55 МПа досягнуто при застосуванні термо абразивної обробки та нарізання «рваної» різьби в 50 МПа.

9. Проведено дослідження залежності параметрів шорсткості від твердості поверхні основи при різних технологічних методах підготовки. Встановлено що при електроерозійному методі обробки твердість поверхні основи майже не впливає на шорсткість обробки. При застосуванні абразивних методів обробки вплив на шорсткість незначний. При застосуванні накатування та методу нарізання «рваної» різьби шорсткість поверхні значно знижується з зростанням твердості поверхні і при досягненні твердості більше 40 HRC унеможливує процес.

10. Дослідження продуктивності процесів підготовки показало, що найвищу продуктивність має надзвукова термо абразивна обробка та нарізання "рваної" різьби в порівнянні з еталоном абразивно – струменевою обробкою.

11. Встановлено зниження міцності зчеплення від часу витримки після обробки. Найбільший вплив характерний для абразивних методів обробки, очевидно через зниження активації сил Ван-дер-Ваальса, незначне зниження зчеплення при інших методах обумовлене на нашу думку утворенням оксидних плівок.

12. Проведено дослідження впливу методу підготовки на втомну міцність. Встановлено що найвищий рівень межі міцності мають зразки після абразивних методів обробки, що очевидно обумовлено впливом поверхнево – пластичного деформування. Найнижчий рівень – нарізання «рваної» різьби, що на нашу думку обумовлено створенням зон концентрації напруг.

13. Розроблено технологічні рекомендації що до застосування методів підготовки. Відповідно до визначених критеріїв найбільш ефективним є метод надзвукової термо абразивної обробки, але при цьому слід вирішити проблеми захисту персоналу від шуму шляхом розробки камери та інтенсифікувати виробництво до рівня мінімум дрібносерійного. Для деталей з твердістю до 40

НРСта значним запасом втомної міцності, рекомендовано нарізання «рваної» різьби.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пилипенко А.М. Повышение адгезионной прочности газотермических покрытий // Проблемы и пути реализации науч. – техн. потенциала военно-промышленного комплекса: Материалы междуна. науч. –техн. конферен. , 15-17 марта 2010, Киев-Киев: АТМ України, 2010. -С. 137-139.
2. Ивашко В.С., Буйкус К.В. Оптимизация технологии восстановления изношенных поверхностей деталей машин активированной дуговой металлизацией // Инженерия поверхностей и реновация изделий: Материалы международной научно-технической конференции, 28-30 мая 2012, Ялта-Киев: АТМ Україна, 2012. –С. 156-158.
3. Калита В.И. Методы оценки подготовки поверхности деталей под газотермическое напыление / В.И.Калита, Л .Х. Балдаев, В .А. Лупанов [и др.] / / Сварочное производство. 2005. №4. С. 42–44.
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. Sh. Khameneh, M. Heydarzadeh. Effect of gritblasting parameters on the surface roughness and adhesion strength of sprayed coating† // Surface and Interface Analysis, 2010 Vol. 42, N 6-7, p. 551–554.

7. Федорченко И. М. Покрытия как средство защиты от износа и восстановления изношенных деталей // Защитные покрытия на металлах. – вып. 17. – Киев, Наукова думка. – 1983 – С. 3 - 9.
8. Аулін В. В., Черновол М.И. Теоретичні основи створення керованих композиційних матеріалів і покриттів. // Инженерия поверхностей и реновация изделий: Материалы 6-й международной научно-технической конференции, 30.05- 01.06 2006, Ялта-Киев: АТМ Украина, 2006. –С. 23-25 .
9. Черновол М.И., Голубев И.Г. Композиционные покрытия при восстановлении деталей. - М. АгроНИИТЭИИТО, 1989 - 40 с.
10. Воловик Е.Л. Справочник по восстановлению деталей.-М.: Колос,1981. - 352 с.
11. Кряжков В.М., Малышев В. И. Выбор рационального способа восстановления изношенных деталей конкретной номенклатуры. - Ленинград,: Пушкино, 2007. – 25 с.
12. Ландо С. Я. Восстановление автомобильных деталей. - М.:Транспорт, 1987. - 112 с.
13. Поляченко А.Б. Современные методы восстановления и повышения долговечности деталей при ремонте. -М.: Машиностроение, 1985.-46 с.
14. Петров Ю. Н. Перспективные способы восстановления деталей машин//Тез. докл. Всесоюзной научно-практической конференции по восстановлению деталей машин. -М.: 1987. - С. 1 - 5.
15. Таратута А.И., Сверчков А. А. Прогрессивные методы ремонта машин - Минск. Ураждай, 1988 - 376 с.
16. Степанов В.А., Бабусенко С.Р. Современные способы ремонта машин. - М.: Колос, 1972. - 336 с.
17. Линник В.А., Пекшев П.Ю. Современная техника газотермического нанесения покрытий. - М.: Машиностроение, 1985. - 128 с.
18. Ткачев В.Н. Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин. - М. Машиностроение, 1971. - 264 с.

19. Черноиванов В.И., Лялякин В.П. Восстановление коленчатых валов. // Техника в сельском хозяйстве -1980. - № 1.- С. 57 - 60.
20. Вайстух И.М. Состояние и перспективы газотермического напыления покрытий. // Автомобильная промышленность. - 1982. - №2 - С. 24 - 26.
21. Тер - Даниэлян Б.И., Красниченко Л. В. Электродуговая металлизация коленчатых валов // Техника в сельском хозяйстве. - 1983.- № 4. - С. 58 - 59.
22. Тер - Даниэлян Б.И., Красниченко Л.В., Пономарев Ю.Н. Восстановление распределительных валов двигателей. // Техника в сельском хозяйстве. - 1984. - № 7.- С. 54.
23. Ивашко В.С., Изюитко В.М., Прядко А.С. и др. Повышение эффективности использования проволоочных материалов для ремонта машин методом активированной электродуговой металлизации // Материалы технологии и оборудование для упрочнения и восстановления деталей машин. Минск, УП «Технопринт». -2003. – С. 189-191
24. Хасуи А., Моригаки О. Наплавка и напыление. - М.: Машиностроение, 1985. - 240 с.
25. Коробов Ю.С. Эффективность применения активированной дуговой металлизации для нанесения защитных покрытий // Сварочное производство. - 2005. - №2. – с. 47- 50.
26. Антошин Е.В. Газотермическое напыление покрытий. - М. : Машиностроение, 1974. - 96 с.
27. Витязь П.А. Термические методы нанесения защитных покрытий в области их применения. - Минск,: БелНИИНТИ, 1982. - 38 с.
28. Какуевицкий В.А. Применение газотермических покрытий при изготовлении и ремонте машин. - Киев. Техника, 1989. - 176 с.
29. Хасуи А. Техника напыления. - М.: Машиностроение, 1985. -288 с.
30. Кречмер З. Напыление металлов, керамики и пластмасс.- М.: Машиностроение, 1966. - 432 с.

31. Лялякин В.П., Научно-обоснованные технологии восстановления коленчатых валов автотракторных двигателей // Сварочное производство.- 1993. - №2.- С. 4-7.
32. Kocher Horst.Regezeienung von Verschleibteilen in der Ktz-Instandhaltung durch Metallspritztechnik // Kraftverkehr. – 1983, № 6. S. 253-255.
33. Lichtbogenspritzen fur das Regetechnik . -1999. -40, № 3. –S 126-128.
34. Milewski W. Lichtbogenspritzen in Schutzgasatmosphare // Schweisstechnik. - 1997. -37, № 10. –S. 461-463.
35. Пантелеенко Ф. И., Сороговец В.И. , Шумов О.В. Эффективные восстановительно-упрочняющие технологии в ремонтном производстве // Технологии ремонта машин, механизмов, оборудования (Ремонт-2000): Материалы 8-й международной научно-технической конференции, 6-8 мая 2000, Ялта-Киев: АМП Украины. -2000.- С. 76-77.
36. Горбатов И.Н., Порядченко П.Е., Дидок П.И. и др. Восстановление коленчатых валов автомобилей дуговой металлизацией // Сварочное производство. -1990. -№7. – С. 28-29.
37. Barthel Gunter. Lichtbogenspritzen fur das Regenerieren von Kurbelwellenteilen // schweisstechnik. – 1990. – 40, № 3. –S 126-128.
38. Петров С.В., Коржик В.Н., Горбань В.Ф. и др. Газотермические покрытия для упрочнения тяжело нагруженных деталей мощных дизелей // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2005. - №6. – С. 20-30.
39. Langere Standzeiten durch Ionenbeschuz // Stahlmarkt. 1993. -43, №3. –S. 52.
40. Борисов Ю.С., Харламов Ю.А., Сидоренко С.Л., Ардатовская Е. Н. Газотермические покрытия из порошковых материалов. - Киев: Наукова думка, 1978 - 554 с.
41. Барсуков Г. В. Управление системой технологического обеспечения качества поверхности деталей в процессе резания сверхзвуковой струей жидкости // Справочник. Инженерный журнал. Приложение. Современные проблемы технологии машиностроения, 2003. № 8. С. 19–24.

42. Crane L. W., Johnston C.L., James D.H. Relationships between process variables, structure and mechanical properties of arc sprayed steel coatings//1-st int. Conf. SurfaceEng. – Abington, 1996. – P/ 103-108.
43. Flexible arc-spray unit introduced // Metal Bull. Mon. - 1992. - Dec. - P. 67.
44. Wear and corrosion resistant electric arc coatings // Surface Eng. - 1987. - 3, №4. - P. 279.
45. Мима Е., Кадзи., Коваи С. Износостойкость напыленных покрытий // Нихон еся кекаиси. -1970. -6, №2. – С. 311.
46. Похмурский В.И., Пих В.С., Студент М.М. Основы формирования защитных и восстановительных покрытий электродуговым напылением из порошковых проволок // Физ. - хим. механика материалов. - 1986. - №6. - С. 11-16.
47. Студент М.М., Пих В.С. Залежність рівня залишкових напружень від складу покриття і режимів электродугової металізації // Фіз.-хім. механіка матеріалів. - 1993. - №5. - С. 46-52.
48. Nickel-Free Powder Wires for Electric Arc Spraying of restoring and wear-proof coating // Proc. 8-th Nat. Conf. "Thermal Spray". - Houston: Texas. - 1995. - P. 695-697.
49. Зносостійкі газотермічні покриття з порошкових дрітій системи Fe-Cr-C /В.І. Похмурський, В.В. Широков, М.М. Студент, М.В. Довгунік, І.Й. Сидорак // Проблеми трибології. - 1997. - №3. - С. 48-56.
50. Борисов Ю.С., Гольник В.Ф., Гайдаренко А.Л. Триботехнические характеристики электрометализационных покрытий // Мат. постоянно действ. межотр. сем. «Поверхн. слой, точ. и эксплуатац. св-ва дет. маш.», Москва, 1991. –М., 1991. – С. 13.
51. Weber F. Zweidraht-Lichtbogenspritzen mit Pulverdraht. Teil 2 // Schweisstechnik (DDR). - 1988. - 38, № 12. - S. 561-563.
52. Борисов Ю.С., Козьяков И.А., Коржик В.Н. Структура и свойства газотермических покрытий, полученных с использованием порошковых

проволок системы Fe-Cr-B, Fe-Cr-B-C // Автоматическая сварка - 1996. - № 5 (518).-С. 21-24.

53. Tndo Kichiro, Fukuda Yoshio, Inoue Gennosuke et al. Influence of internal stresses on the wear of steel // Bull. Jap. Soc. Prezis. End – 1970.-4. №1. –Н. 17-18.