

Запорізький національний технічний університет, Фізико-технічний інститут,
Інженерно-фізичний факультет
(повне найменування інституту, назва факультету)

Обладнання і технологія зварювального виробництва
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр

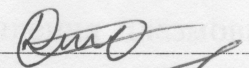
(рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень))

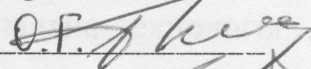
на тему: «Оптимізація процесу плазмового напилення струмоведучим дротом
бандажів волочильного стану з проектуванням ділянки»

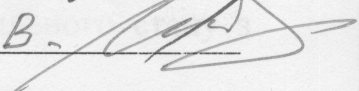
Виконав: студент 6 курсу, групи ІФ-412м
напряму підготовки (спеціальності)

131 «Прикладна механіка», 131.5 «Відновлення і
підвищення зносостійкості деталей і
конструкцій»

(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

Строгонов Д.В. 
(прізвище та ініціали)

Керівник Биковський О.Г. 
(прізвище та ініціали)

Рецензент Єршов А.В. 
(прізвище та ініціали)

_____ - 2017 року

Запорізький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет ФТІ, ІФФКафедра ОТЗВРівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) магістрНапрямок підготовки 131 „Прикладна механіка“

(код і назва)

Спеціальність Відновлення і підвищення зносостійкості деталей

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

проф. Овчинников О. В.
“06” 12 2017 року**З А В Д А Н Н Я****НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ**Строгонов Дмитро Вадимович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи): „Оптимізація процесу плазмового на-
плення струмоведучим дротом бандажів волощиль-
ного стану з протиставленням дільниці“керівник проекту (роботи) Биковський Олег Григорович, д.т.н., професор

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ ” 2017 року №

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 10.12.173. Вихідні дані до проекту (роботи) Технологія плазмового наплення
бандажів волощильного стану типу ВСК-134. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. ВСТУП; 1. Сутність способу плазмового наплення; 2. Вплив
дротостр. обробки на мікрорельєф і мікр. зглад. плазм покр.
3. Підкладкою з технолог. і техн. дроб. обр. нап. поверх. 4. Техн. умови
на виготовл. і прийм. нап. кр. 5. Тех. проц. плазм. нап. БАНД.
ВОЛОЧ. СТАНУ; 6. ТЕХН. ЕКОН. РОЗР. ДІЛ. ПЛАЗ. НАП.; 7. ОПБНС; Висновки
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ; ДОДАТОК А, Б, В, Г5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1. ПРИНЦИПОВА СХЕМА ПРОЦ. ПЛАЗМ. НАП. СТРУМ. ДРОТ.; 2. ДИФ. СТ. ОБР.
ПОВ. І ЗАС. ІІ ВИМІР.; 3. ДІАГ. МІКР. ПОВ. ОБР. ДРОБ. ЗА ПЕВН. ЧАС; 4.
ОПТ. ПРОЦ. ПЛАЗ. НАП. СТ. ДРОТ.; 5. БАНД. ВОЛ. СТА. ТИПУ ВСК-13; 6. УСТ. ДРОБ.
ОБР.; 7. УСТ. ПЛАЗМ. НАП.; 8. ПРИСТОСОВ. ДІАГ. НАП. БАНД.; 9. ПЛАН ДІЛ. ПЛ.
ПЛАЗМ. ВІДН. БАНД. ВОЛ. СТАНУ. ЗВ; 10. ТЕХН. ЕКОН. ПОКАЗН. ДІЛ. ПЛ.
ВІДН. ВОЛ. БАНД. ВОЛ. СТАНУ;

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
6.	Кругликова В.В., к.е.н., доцент	06.09.17	
7.	Нестеров О.В., к.т.н., доцент	06.09.17	
3,5.	Биковський О.Г., д.т.н., професор	06.09.17	
Перевірка на унікальність тексту – 86,75% – AntiPlagiatist, – стандарт. Осінков М.В., доц., к.т.н.			

7. Дата видачі завдання 05.09.17

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	ВСТУП	11.09.17	Виконав
2	СУТНІСТЬ СПОСОБУ ПЛАЗМОВОГО НАПИЛЕННЯ СТРУМОВЕДУЧИМ ДРОТОМ	26.09.17	Виконав
3	ТЕХНОЛОГІЯ І ТЕХНІКА ДРОВОСТРУМИННОЇ ОБРОБКИ НАПИЛЮВАННОЇ ПОВЕРХНІ	9.10.17	Виконав
4	ТЕХНІЧНІ УМОВИ НА ВИГОТОВЛЕННЯ І ПРИЙМАННЯ НАПИЛЮВАННИХ ВИРОБІВ	27.10.17	Виконав
5	ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ПЛАЗМОВОГО НАПИЛЕННЯ БАНДАЖІВ ВОЛОЩИЛЬНОГО СТАНУ	10.11.17	Виконав
6	ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ КІЛЬ-НИЦІ ПЛАЗМОВОГО НАПИЛЕННЯ	20.11.17	Виконав
7	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВ-ИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	28.11.17	Виконав
8	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	30.11.17	Виконав

Студент

(підпис)

Осінков Д.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Биковський О.Г.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 130 с., 34 рис., 27 табл., 6 додатків, 46 літературних джерел.

Предмет дослідження – процес плазмового напилення струмоведучим дротом.

Об'єкт дослідження – міцність зчеплення плазмових покриттів з основою.

Мета роботи – дослідження впливу мікрорельєфу поверхні, підготовленої до плазмового напилення на міцність зчеплення покриття з підкладкою.

Метод дослідження – теоретичний і експериментальний.

В даній дипломній роботі використовуючи профілометричний спосіб дослідження мікрорельєфу оброблюваної поверхні були отримані певні дані, які дають змогу оптимізувати технологію плазмового напилення струмоведучим дротом з метою підвищення міцності зчеплення плазмових покриттів з основою. Згідно цього була розроблена раціональна технологія відновлення і зміцнення робочої поверхні бандажів волочильного стану з проектуванням ділянки.

ШОРСТКІСТЬ, ДРОБОСТРУМИННА ОБРОБКА, ПРОФІЛОМЕТР, МІЦНІСТЬ ЗЧЕПЛЕННЯ, ОПТИМІЗАЦІЯ, ПЛАЗМОВЕ НАПИЛЕННЯ СТРУМОВЕДУЧИМ ДРОТОМ, БАНДАЖ ТЯГНУЧОГО РОЛИКА, ВОЛОЧИЛЬНИЙ СТАН.

RESUME

La thèse d'études supérieures: 130 p., 34 des., 27 tabl., 6 addit., 46 références.

Le sujet d'étude est le procédé de projection plasma du fil conductrice.

L'objet d'étude est l'adhésion des revêtements de plasma avec le substrat.

Le but du travail est les recherches de l'influence de la rugosité de surface qui est préparée pour projection plasma à l'adhésion du revêtement avec le substrat.

La méthode d'étude est théorique et expérimental.

Dans la thèse d'études supérieures en utilisant le procédé profilométrique d'étude du rugosité de surface usinée, ont été obtenus des renseignements, qui permettent d'optimiser la technologie de projection plasma du fil conductrice pour augmenter l'adhésion des revêtements de plasma avec le substrat. On a élaboré la technologie rationnelle de rechargement et du renforcement de surface travaillante de tréfilage cabestan poulie avec l'établissement du projet de section de la production.

LA RUGOSITE, LA GRENAILLAGE, LE PROFILOMETRE, L'ADHESION, L'OPTIMISATION, LA PROJECTION PLASMA DU FIL CONDUCTRICE, LE TREFILAGE CABESTAN POULIE, LA MACHINE DE TREFILAGE.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 СУТНІСТЬ СПОСОБУ ПЛАЗМОВОГО НАПИЛЕННЯ СТРУМОВЕДУЧИМ ДРОТОМ.....	10
2 ВПЛИВ ДРОБОСТРУМИННОЇ ОБРОБКИ НА МІКРОРЕЛЬЄФ ТА МІЦНІСТЬ ЗЧЕПЛЕННЯ ПЛАЗМОВОГО ПОКРИТТЯ З ПІДКЛАДКОЮ...	18
3 ТЕХНОЛОГІЯ І ТЕХНІКА ДРОБОСТРУМИННОЇ ОБРОБКИ НАПИЛЮВАННОЇ ПОВЕРХНІ.....	28
3.1 Методика і обладнання для проведення дослідження.....	30
3.2 Результати дослідження та їх обговорення.....	33
4 ТЕХНІЧНІ УМОВИ НА ВИГОТОВЛЕННЯ І ПРИЙМАННЯ НАПИЛЮВАННИХ ВИРОБІВ.....	37
4.1 Вимоги до кваліфікації робітників.....	37
4.2 Контроль якості електродних матеріалів.....	38
4.3 Загальні положення з технології підготовки поверхні бандажу до напилення, методи і обсяг контролю якості.....	41
4.4 Методи, обсяг контролю і критерії оцінки якості готових виробів, засоби виправлення дефектів.....	43
5 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ПЛАЗМОВОГО НАПИЛЕННЯ БАНДАЖІВ ВОЛОЧИЛЬНОГО СТАНУ.....	45
5.1 Умови експлуатації бандажу тягнучого ролика волочильного стану.....	45
5.2 Підготовка виробу до напилення.....	48
5.3 Вибір електродних матеріалів для напилення.....	52
5.4 Плазмове напилення струмоведачим дротом відновлюваної поверхні бандажу.....	53
5.5 Контроль якості напилюваного виробу і методи усунення дефектів.....	56
5.6 Обладнання для здійснення процесу плазмового напилення.....	57

5.7 Проектування оснащення для плазмового напилення бандажів волоочильного стану.....	61
5.8 Висновок.....	65
6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ ДІЛЬНИЦІ ПЛАЗМОВОГО НАПИЛЕННЯ.....	66
6.1 Організація ділянки плазмового напилення струмоведучим дротом бандажів волоочильних станів.....	71
6.2 Планування витрат на виробництво.....	80
6.3 Економічне обґрунтування запропонованих розробок.....	92
7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	96
7.1 Аналіз потенційних небезпек.....	96
7.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки.....	98
7.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці.....	104
7.4 Заходи з пожежної безпеки.....	105
7.5 Заходи по забезпеченню безпеки в умовах надзвичайних ситуацій.....	107
ВИСНОВКИ.....	115
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	117
ДОДАТОК А Маршрутна карта на технологічний процес плазмового напилення бандажів волоочильного стану.....	122
ДОДАТОК Б Стаття у фаховому виданні «Сварщик».....	125
ДОДАТОК В Специфікація установки плазмового напилення.....	127
ДОДАТОК Г Специфікація установки дробоструминної обробки.....	128
ДОДАТОК Д Специфікація плану ділянки плазмового напилення бандажів волоочильного стану.....	129
ДОДАТОК Е Акт впровадження.....	130

ВСТУП

Нанесення покриттів розпиленням - один з найбільш розвинених у наш час плазмових процесів. Плазмове нанесення покриттів окрім традиційних галузей промисловості - металургії та машинобудування отримало широке розповсюдження у виробництві авіаційної та ракетної техніки, в атомній енергетиці, хімічній промисловості, а також у технології виготовлення композиційних матеріалів.

Використовуючи низькотемпературну плазму, можна наносити покриття практично з усіх матеріалів, які в плазмовому струмені не сублімують і не зазнають інтенсивного розкладу. Перевагами плазмового напилення у порівнянні з іншими методами нанесення покриттів є те, що деякі тугоплавкі метали та керамічні матеріали можливо нанести тільки даним методом, відсутність значного термічного впливу на напилюванному виробі, можливість отримувати захисні покриття з визначеними технологічними характеристиками для різних умов експлуатації.

Однак вагомим недоліком нанесення покриттів таким способом - є обов'язкова підготовка напилю ваної поверхні, яка значною мірою впливає на міцність зчеплення плазмового покриття з основою. Підготовку поверхні напилюваного виробу найчастіше здійснюють використовуючи технологію дробоструминної обробки, під впливом якої відбувається активація поверхні та формується мікрорельєф з необхідними параметрами шорсткості.

У наш час проведена велика кількість досліджень у області підготовки поверхні до плазмового напилення, проте результати досліджень носять розрізнений характер, практично відсутні досить обґрунтовані вимоги до параметрів мікрорельєфу поверхні, підготовленої до напилення.

Тому виникає потреба у проведенні додаткових досліджень впливу мікрорельєфу поверхні, підготовленої до напилення на міцність зчеплення плазмового покриття з основою.

1 СУТНІСТЬ СПОСОБУ ПЛАЗМОВОГО НАПИЛЕННЯ СТРУМОВЕДУЧИМ ДРОТОМ

У основі процесу плазмового напилення лежить нагрів напилюваного матеріалу до рідкого або пластичного стану, перенесення його високотемпературним плазмовим струменем у напрямку підкладки, удар та деформація напилюваних частинок о поверхню підкладки і подальше утворенням шару покриття унаслідок фізичної та хімічної взаємодії [1].

Низькотемпературний плазмовий струмінь широко використовують як джерело нагріву, розпилення та прискорення частинок при напиленні покриттів. Для плазмового нанесення покриттів використовують дугові генератори плазми - плазмотрони, у яких електрична енергія за допомогою газового розряду перетвориться в теплову і кінетичну енергію газу.

На осі електричної дуги, що вільно горить, температура досягає 5000-7000 °K, а середньомасова температура - не більше 3000 °K. Трудність підвищення температури дуги полягає у тому, що зі збільшенням потужності, яка підводиться, збільшується переріз стовпа дуги, опір її зменшується, а щільність струму прагне залишитися постійною. Якщо електричну дугу пропускати через охолоджуване сопло і одночасно обдувати газом, то дуга стискається, причому на межі електричного розряду відбуваються інтенсивний теплообмін і деіонізація. Примусове охолодження газом викликає термічне стиснення стовпа дуги (термічний пінч-ефект), що у свою чергу, посилює стискаючу дію власного магнітного поля дуги.

В результаті збільшується напруженість електричного поля розряду, відповідно електрична потужність, що виділяється в одиниці об'єму стовпа дуги. Це призводить до того, що температура на осі дуги підвищується і може досягати величин, характерних для низькотемпературної плазми, тобто 10 – 20 тис. °K (рис. 1.1) [2,3].

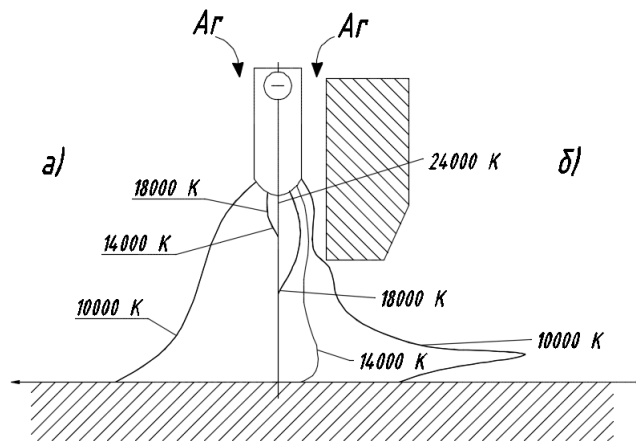


Рисунок 1.1 – Схема розподілу температури у вільній (а) та плазмовій (б) дугах

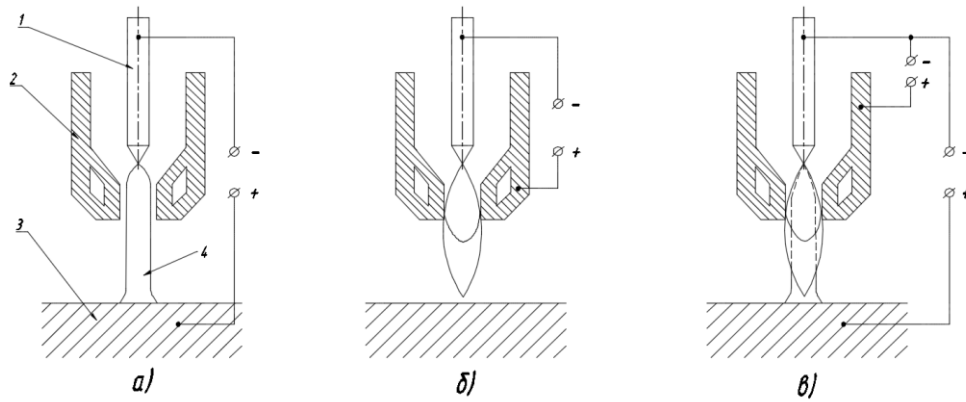
Плазма - іонізований газ, у якому концентрація позитивно і негативно заряджених часток майже однакова, а хаотичний рух часток переважає над впорядкованим рухом їх в електричному полі [4].

Назва «низькотемпературна плазма» відображає той факт, що її температура незрівнянно нижче, ніж у термоядерної. З точки зору техніки низькотемпературна плазма - джерело надвисоких температур, недосяжних ніякими іншими шляхами. Для неї характерні висока концентрація енергії - до 35 кВт/см^2 при нормальних коефіцієнтах використання (більше 0,6), великий діапазон швидкостей витікання струменю - від 300 до 600 м/с (згідно зарубіжних даних – до 1000 м/с), відносна простота отримання [5, 6, 7].

У наш час для плазмового нанесення покриттів використовують дугові генератори плазми – плазмотрони.

Принцип дії усіх електродугових плазмотронів однаковий і базується на примусовому охолодженні і стискуванні стовпа електричної дуги газом або рідиною [8].

Відомі три типи дугових плазмотронів - з дугою прямої дії, побічної дії і комбінованою дугою (рис. 1.2).



а – із залежною дугою (прямой дії); б – з незалежною дугою (побічної дії); в – з комбінованою дугою; 1 – катод; 2 – сопло; 3 – оброблюваний виріб; 4 – дуга

Рисунок 1.2 – Типи дугових плазмотронів

У усіх у них один з електродів - стержень з тугоплавким наконечником з вольфраму W, цирконію Zr, гафнію Hf та ін. Як правило, це катод. Катод і анод електрично ізольовані і охолоджуються водою або повітрям. Дуга між катодом (стержнем) і анодом (соплом) проходить через сопло під тиском газу, що подається в розрядну камеру. Місце контакту дуги з анодом - анодна пляма - переміщається по внутрішній стінці каналу сопла, а стовп дуги виявляється стабілізованим по осі електроду і сопла. Значна частина газу, який називають плазмоутворюючим, формує сильно нагрітий іонізований плазмовий струмінь.

Шар газу, який омиває стовп дуги, відносно холодний і забезпечує його електричну і теплову ізоляцію від стінок розрядної камери, а головне, оберігає сопло від руйнування. Цей зовнішній шар газу обумовлює стискування дуги, в результаті щільність струму в плазмотронах досягає 100 А/мм^2 , що на порядок вище за щільність струму вільної дуги при атмосферному тиску. При виході з сопла потік іонізованого газу дещо розширюється, тобто сопло як би є діафрагмою, що перетягує плазмовий струмінь. Це призводить до виникнення осьового градієнта тиску власного магнітного поля дуги, витікання плазмового струменя, що підвищує швидкості, до значень, що перевищують у декілька разів швидкість звуку.

У плазмотронах із «залежною» дугою (прямої дії) анод - оброблюваний виріб (рис. 1.2, а). Сопло електрично нейтральне і служить для стискування і стабілізації стовпа дуги. Безпосереднє збудження дуги між катодом і виробом через вузький канал сопла здійснити важко, тому спочатку збуджується допоміжна дуга між катодом і соплом, яка живиться найчастіше від того ж джерела живлення через струмообмежувальний опір, а потім в результаті іонізації дугового проміжку і зниження пробійної напруги виникає основна (робоча) дуга між катодом і виробом, а допоміжна - при стійкому горінні основної дуги відключається.

У плазмотронах з «незалежною» дугою (побічної дії) теплова енергія до виробу передається лише струменем плазми, що нагрівається стовпом дуги (рис. 1.2, б). Стабілізація стовпа дуги здійснюється аксіальним або вихровим поданням газу. У першому випадку газ проходить уздовж катода, охолоджує його і виходить з отвору сопла. У другому - поступає в розрядну камеру через канали, які розташовані дотично до отвору і рухається по спіралі, омиваючи стовп дуги вихровим потоком.

Часто використовують плазмотрони з подвійним або комбінованим газовим потоком. Вони мають два сопла, гази, що подаються в кожне сопло, можуть бути різними за призначенням, складом і витраті: один - плазмоутворюючий, а інший - захисний.

Характеристики плазмового струменю визначаються значною мірою плазмоутворюючим газом. Використовуються одноатомні інертні гази – аргон Ar , гелій He , двоатомні – азот N_2 , водень H_2 , кисень O_2 і багатоатомні - вуглекислий газ CO_2 , аміак NH_3 та ін. Плазма двух- і багатоатомних газів містить більше тепла, оскільки процес рекомбінації молекул в них йде при нижчих температурах. На ентальпію плазмового потоку сильно впливає витрата плазмоутворюючого газу. Зі збільшенням його зменшується площа поверхні розряду внаслідок зменшення діаметру стовпа, що його проводить. Це знижує інтенсивність теплопередачі до потоку газу, а отже, і його тепломісткість.

Часто для утворення плазми використовують суміші різних газів. Підбором можна створити будь-яке середовище плазмового струменя - окислювальне, відновне або нейтральне.

Напилюваний матеріал в плазмовому струмені нагрівається, плавиться, розпилюється (дріт, стержні) і сформований потік частинок спрямовується у бік підкладки [3, 9]. При ударі і деформації відбувається взаємодія частинок з поверхнею підкладки і формування покриття.

Повне розплавлення напилюваного матеріалу має місце при плазмовому розпиленні дроту або стержнів [10]. Додатково інтенсифікувати нагрів дроту або стержнів з електропровідного матеріалу можна поданням на них напруги за схемою дрот-відкритий анод (рис. 1.3) [11].

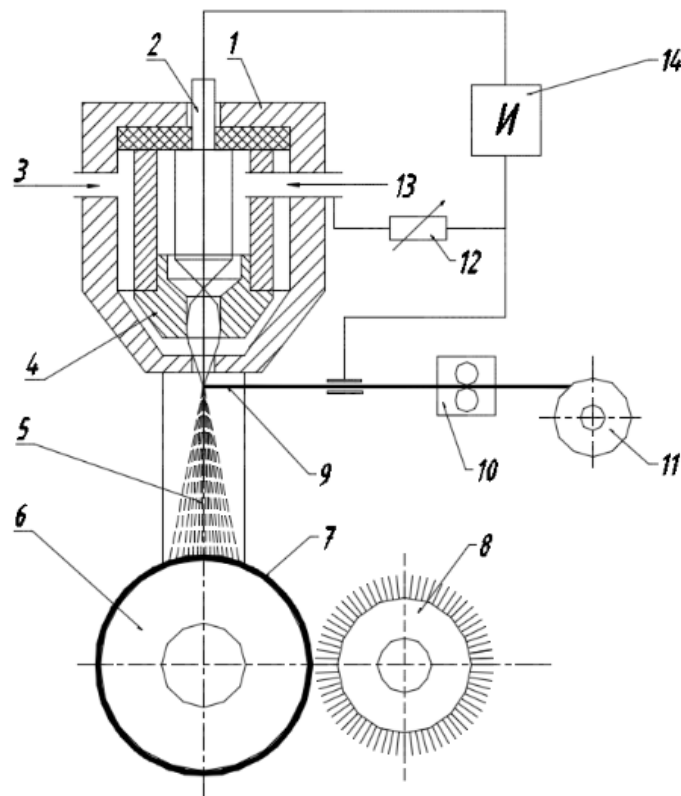


Рисунок 1.3 - Схема процесу плазмового напилення струмоведучим дротом

Безпосереднє збудження дуги між стрижневим електродом 2 (катодом) і дротом (анодом) 9 через вузький канал сопла здійснити важко, тому спочатку збуджується допоміжна дуга між катодом і соплом 4, яка живиться найчастіше від того ж джерела живлення 14 через струмообмежувальний опір 12, а потім при подачі плазмоутворюючого газу 13 у робочу камеру

плазмотрону 1 в результаті іонізації дугового проміжку і зниження пробійної напруги виникає основна (робоча) дуга між катодом і анодом, а допоміжна - при стійкому горінні основної дуги відключається.

За допомогою механізму подачі 10 на зріз сопла плазмотрону здійснюється радіальна подача дроту 11, на нього подається позитивний потенціал джерела живлення (відкритий анод).

Нагрівання і плавлення дроту відбувається переважно за рахунок виділення теплоти у анодній плямі. Плазмовий струмінь, в основному, виконує функції розпилення.

Плазмово-дугове дрогове напилення є перспективним процесом газотермічного нанесення покриттів, який дозволяє отримувати високоякісні покриття різного технологічного призначення [12]

Технологія плазмового напилення струмоведучим дротом дозволяє наносити покриття на металеві вироби будь-яким дротом, у тому числі порошковим, дротом з кольорових металів і сплавів; на багат шарові покриття з різних матеріалів, у тому числі антикорозійні; на металеві покриття і неметалічні вироби (пластмаси, бетон, цеглину, графіт, скло і т.д.); на композитні покриття одночасним розпиленням декількох дротів різного складу; на покриття тіл обертання діаметром більше 200 мм [13].

Параметрами режиму є [14]:

1. Рід струму, полярність;
2. Діаметр дроту $d_{\text{дроту}}$, мм;
3. Зварювальний струм I , А;
4. Напруга на дузі U , В;
5. Швидкість подачі дроту $V_{\text{пд}}$, м/год;
6. Дистанція напилення $L_{\text{нап}}$, мм;
7. Витрата плазмоутворюючого газу $Q_{\text{Аг}}$, м³/год.
8. Витрата транспортуючого газу $Q_{\text{повітря}}$, м³/год.

Нанесення покриттів напиленням - один з найбільш розвинених нині плазмових процесів. Його застосування в промисловості характеризує великий об'єм робіт і широке коло напилюваних матеріалів.

Це обумовлює такі переваги методу по відношенню до інших способів нанесення покриттів [15]:

1. Висока температура плазми дозволяє використовувати для напилення будь-які тугоплавкі матеріали;
2. Плазмоутворюючий газ, що не містить кисню, унеможливорює окислення напилюваних матеріалів, тоді як в киснево-ацетиленових пальниках не можна напилювати карбіди, бори́ди, нітриди, силіциди і інші з'єднання, властивості яких змінюються під впливом окислювального середовища при високих температурах;
3. Висока швидкість і температура плазмового потоку дозволяють отримувати більш високу щільність покриттів (малу пористість) при кращому зчепленні з підкладкою;
4. Плазмові покриття можна наносити на дерево, кераміку, бетон пластмаси, легкоплавкі метали і сплави, оскільки поверхня оброблюваного матеріалу нагрівається не вище 100 - 200 °С;
5. Температуру і тепломісткість плазмового потоку можна регулювати в широких межах, залежно від вимог технології;
6. Висока продуктивність процесу плазмового напилення, порівняно з іншими методами нанесення покриттів (табл. 1.1) [13].

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика деяких електротермічних способів нанесення покриттів

Показник	Електродуго- ве наплавлення	Плазмова металізація		
		порошком	дротом	
			нейтральним	струмоведу- чим
ККД нагрівання матеріалу, %	20-40	2-4	3-5	8-10
Коефіцієнт використання матеріалу, %	70-80	20-60	50-75	50-75
Продуктивність, кг/год	3-4	3-6	6-8	8-10
Енерговитрати по нанесенню 1 кг покриття, Дж·10 ⁴	7-8	12-14	10-12	4-5

Недоліками способу є:

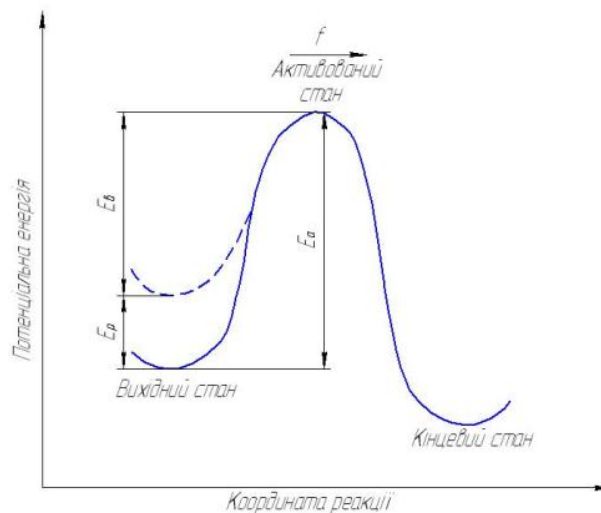
1. Невисокі значення коефіцієнта використання енергії: 0,02-0,18 при напиленні дровових матеріалів і 0,01-0,02 при напиленні порошкових.

2. Тяжкі гігієнічні умови праці - високий рівень шуму (у безпосередній близькості від установки шум досягає рівня 115-125 дБ), виділення унавколишнє середовище аерозолів тугоплавких матеріалів, інтенсивне світлове, ультрафіолетове та інфрачервоне випромінювання (інтенсивність інфрачервоної радіації на відстані 0,5 м від плазмового розпилювача складає $(6-25) \cdot 10^{25}$ Вт/м²).

3. Висока вартість устаткування і великі експлуатаційні витрати.

2 ВПЛИВ ДРОБОСТРУМИННОЇ ОБРОБКИ НА МІКРОРЕЛЬЄФ ТА МІЦНІСТЬ ЗЧЕПЛЕННЯ ПЛАЗМОВОГО ПОКРИТТЯ З ПІДКЛАДКОЮ

Однією з найважливіших характеристик якості покриттів є міцність зчеплення з основним матеріалом виробу, високий рівень якої досягається не тільки при оптимальних умовах напилення, але і за рахунок відповідної підготовки напилюваної поверхні (видалення забруднень, активація поверхні основи для усунення бар'єрів, що перешкоджають контакту напилюваних частинок і поверхневого шару основи (рис. 2.1)) [16].



E_a - енергія активації переходу з початкового в активований стан;
 E_p - підвищення початкового енергетичного стану системи зовнішнім тиском P , складова якого у вигляді сили f діє у напрямі координати реакції;
 E_b - частина енергетичного бар'єру, яка долається за рахунок внутрішньої теплової енергії системи

Рисунок 2.1 - Схема зміни потенційної енергії системи атомів частинки і підкладки

Локальне підвищення активності поверхні твердої основи виникає внаслідок виникання тиску від удару частинки [17]. Цей тиск за рахунок пружних викривлень ґратки і пластичної деформації навантажує міжатомні зв'язки і викликає уявні зниження активаційного бар'єру E_a на величину E_p .

Внаслідок енергетичної неоднорідності поверхні контакту хімічна взаємодія починається і локалізується в першу чергу в зонах з найбільшою енергією. Саме у цих зонах утворюються осередки захоплення [18].

Причини виникнення неоднорідності різні. Це можуть бути дефекти кристалічної структури твердого тіла. Велику енергетичну неоднорідність вносить механічна обробка поверхні [19].

Попередня підготовка напилюваної поверхні має вирішальне значення при будь-якому методі нанесення покриттів. Мета підготовки полягає в підвищенні активності атомів поверхні для можливості і полегшення їх з'єднання з атомами покриття. Виходячи з розглянутих уявлень про будову поверхні твердих тіл, можна виділити ряд методів активації підкладок: хімічна активація, завдяки якій здійснюється звільнення поверхні від адсорбованих речовин; фізична активація, при якій шляхом механічного впливу змінюється структура приповерхневого шару і різко збільшується кількість дефектів і вільних зв'язків напилюваної поверхні; термічна активація, яка виконується шляхом попереднього і супутнього напиленню нагріву поверхні твердого тіла і яка забезпечує енергетичні умови, необхідні для подолання активаційного бар'єру утворення вільних зв'язків на поверхні.

Для активації поверхні підготовленої до плазмового напилення покриттів найчастіше застосовують дробоструминну обробку.

З її допомогою поверхня очищається від адсорбованих речовин і виводиться із стану термодинамічної рівноваги з середовищем шляхом звільнення міжатомних зв'язків поверхневих атомів.

При дробоструминній обробці за рахунок збільшення шорсткості, деформації і наклепу утворюються порушення структури поверхні підкладки, яка збагачується дислокаціями, що є основою для дифузії при хімічній взаємодії підкладки з підшаром або покриттям [20].

Шорсткість поверхні основи впливає на міцність зчеплення за рахунок зміни інтенсивності фізико-хімічної взаємодії контактуючих матеріалів частинки і основи. Зазвичай це пов'язують зі зміною схеми напруженого

стану поверхневого шару, кращим прогріванням мікровиступів і концентрацією напружень в гирлі мікровпадини.

У наш час проведена велика кількість досліджень у області підготовки поверхні до плазмового напилення, проте результати досліджень носять розрізнений характер, практично відсутні досить обґрунтовані вимоги до параметрів мікрорельєфу поверхні підготовленої до напилення.

Так, за даними робіт [22, 22], для досягнення максимальної міцності зчеплення плазмових покриттів необхідно забезпечити оптимальне співвідношення параметру шорсткості поверхні до середнього розміру напилюваних частинок. У статті [23] показано, що максимальна міцність зчеплення досягається при певній шорсткості поверхні основи, одержуваної при дробоструминній обробці з оптимальною питомою витратою абразиву.

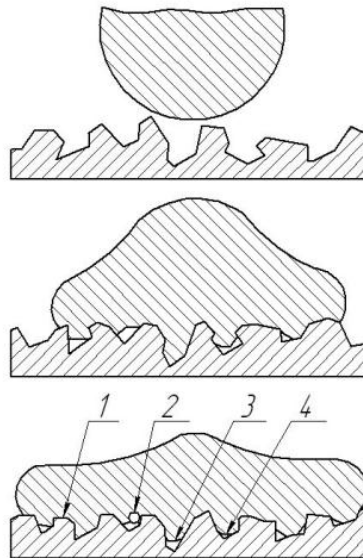
За іншими даними [24], в більшості випадків максимальну міцність зчеплення при струминно-абразивній обробці різним дробом і абразивними частинками отримують при куті атаки поверхні рівному 90° . Також автор пов'язує зміну міцності зчеплення з використанням абразивів різної форми. Зменшення міцності зчеплення виявлено при використанні абразивів в наступній послідовності: нова гострокутна дріб - зношена гострокутна дріб - кругла дріб. Це можна пояснити специфічною роллю форми абразивних частинок в характері взаємодії з оброблюваною поверхнею. Гострокутні частки, мабуть, формують більш сприятливий для утворення міцного зчеплення плазмового покриття з основою мікрорельєф поверхні. При ударі такої частки відтворюються елементарні акти мікрорізання зі зняттям мікростружки і утворення нових ділянок поверхонь. При зіткненні з закругленими і сферичними частинками відбувається пластичне деформування (зминання) мікроучастков поверхні виробу.

Більш чітко виражені залежності міцності зчеплення, яка визначається способом зсуву, від середньоарифметичного відхилення профілю R_a отримані в роботах [25, 26]. Міцність зчеплення при різних способах попередньої обробки поверхні основи, але при однаковій шорсткості майже незмінна. У

цих роботах показано, що основний і значущий вплив на міцність зчеплення надають такі параметри шорсткості: R_p - висота згладжування (відстань від лінії виступів до середньої лінії); R_{max} - найбільша висота нерівностей профілю; R_a - середнє арифметичне відхилення профілю; S_m - середній крок нерівностей. Однак автори не наводять жодних експериментальних залежностей міцності зчеплення від значень параметрів R_p , S_m . Наявність оптимальної шорсткості для досягнення високої міцності зчеплення пояснюється оптимальністю обсягу западин мікрорельєфу, який забезпечує необхідну усадку напилюваного шару при охолодженні. Вплив висоти згладжування R_p можна пояснити також тим, що цей параметр характеризує співвідношення обсягів виступів і западин в шорсткому шарі напилюваної поверхні.

У статті [27] вказано, що на міцність зчеплення значний вплив справляє співвідношення напилюваних частинок до ширини западин. Максимальна міцність зчеплення отримують тоді, коли розміри частинок напилюваного матеріалу менші, ніж ширина западин, що виникли на поверхні в результаті попередньої підготовки.

Автори робіт [28, 29, 30] вважають, що основну роль в процесі зчеплення плазмового покриття з підкладкою грає механічне зачеплення напилюваного покриття за мікронерівності підкладки. Розрізняють два можливі варіанти цього типу зв'язку: клинове зачеплення, коли розмір мікронерівності біля основи менший, ніж у виступу і зв'язок обумовлений тільки силами тертя, і якірне (чи анкерне) зачеплення, коли мікронерівність розширюється біля основи (рис. 2.2) [31, 32]. Для утворення зачеплення яке забезпечує найбільшу міцність зчеплення покриття з підкладкою необхідно забезпечити (за наявності відповідного рельєфу поверхні) максимальну плинність і швидкість напилюваних частинок.



1 - виступ на напилюваній поверхні; 2 - спільна деформація покриття і основи; 3 – клинове зачеплення; 4 – анкерне зачеплення

Рисунок 2.2 – Види механічного зачеплення частинки з підкладкою

Більшість дослідників дотримуються думки, що зчеплення покриття з основою має комплексний характер і обумовлюється як механічним зачепленням, так і утворенням хімічних зв'язків між покриттям і основою і виникненням сил фізичної взаємодії між покриттям і основою. При цьому центр тяжіння може переміщуватися від одного типу зв'язку до іншого залежно від вибору матеріалів основи і покриття, їх властивостей і технологічних параметрів напилення.

Автори робіт [24, 33] вважають, що на міцність зчеплення плазмового покриття з підкладкою значний вплив має наклеп поверхневого шару. Наклеп матеріалу пов'язан зі збільшенням в нім щільності структурних дефектів. Це призводить до підвищення внутрішньої енергії основи і, отже, до зменшення енергії активації реакції взаємодії, а це збільшує міцність зв'язків, що утворюються. У матеріалах з невеликою щільністю дислокацій попереднє збільшення пластичної деформації призводить до збільшення числа дислокацій і зростання числа активних центрів взаємодії. На цьому етапі росте міцність зчеплення покриття з основою. Але подальше підвищення

щільності дислокацій може привести до зменшення числа активних центрів, а, отже, до зменшення міцності зчеплення покриття з основою.

Це пояснюється тим, що рух дислокацій при прикладанні такого ж тиску з боку частинки гальмуватиметься заздалегідь створеними дефектами структури, і в результаті цього кількість дислокацій, що виходять на контактну поверхню, зменшиться.

Автор роботи [20] зробив спробу з'ясувати, які чинники в першу чергу визначають міцність зчеплення покриття з основою. За схемою дріт-відкритий анод напилював шар ніхрому Ni-Cr на поверхню сталі марки Ст.3. Поверхню сталі перед напиленням піддавали дробоструминній обробці.

Зміна режиму дробоструминної обробки змінювала стан поверхні, що перевіряли на спеціальних зразках. В процесі експерименту контролювали зміну шорсткості поверхні (вимірювали середню величину виступів і западин) і зміну міри наклепу, яку визначали по зміні мікротвердості сталевого зразка на відстані 50 мкм від поверхні. Попередні експерименти показали, що після дробоструминної обробки наклеп зменшується в напрямі, перпендикулярному поверхні, але глибина наклепаного шару завжди $\geq 100 \dots 150$ мкм. У роботі показаний вплив часу дробоструминної обробки на міцність зчеплення, приріст мікротвердості і зміну шорсткості поверхні. Автор також вказує на вирішальному впливі міри наклепу на зчеплення покриття з основою.

Згідно з даними роботи [34] при дробоструминній обробці на поверхні тіла утворюються кругові вм'ятини, які в поперечному перерізі являють собою канали-капіляри зі змінним перетином. Рідкий метал проникає в них, створює стійкий увігнутий меніск, спрямований в бік вузької частини, переміщується під дією зовнішнього тиску, радіус кривизни зменшується, капілярний тиск збільшується, він заповнює весь обсяг капіляра.

Рельєф шорсткої поверхні може бути уподібнений пористому тілу, де рідка фаза рухається у капілярах змінної форми перетину в різних напрямках.

При цьому відбувається зміна рельєфу унаслідок спікання, розчинення частинок пористого тіла в розплаві, внаслідок чого змінюється його склад і властивості.

З урахуванням того, що плазмово-металевий струмінь містить перегріту металеву складову, яка частково знаходиться в пароподібному стані, створюються сприятливі умови для жидкофазного спікання першого шару з шорсткою підкладкою завдяки кращим умовам її змочування. При затвердінні нанесеного шару відбувається його усадка, причому, чим краще змочування, тим більше усадка, щільніше і міцніше кожен нанесений шар.

У роботі [35] на спеціальній установці для визначення поверхневих явищ методом лежачої краплі були проведені дослідження змочування різними матеріалами сталеві Ст.3 і титановою BT1-0 підкладок з гладкою після прокатки і обробленою дробом поверхнею. Встановлено, що в усіх випадках шорстка поверхня краще змочується приведеними розплавами в порівнянні з гладкою внаслідок зниження поверхневій енергії контактної зони із-за дрейфу, передусім атомів впровадження до поверхні розділу.

Міжнародний стандарт SAE у області дробоструминної обробки пропонує контролювати суцільність обробки – часткове або повне покриття оброблюваної поверхні відбитками дробу. Важливим параметром, який характеризує суцільність покриття та якість оброблюваної поверхні – є степінь покриття поверхні [36].

Степінь покриття (S , %) – величина суцільності покриття поверхні, оброблюваної відбитками дробу, виражена наступним співвідношенням [37]:

$$S = \frac{F_0}{F} \cdot 100\%, \quad (2.1)$$

де F_0 – площа, покрита відбитками дробу на обробленій ділянці, F – площа обробленої ділянки.

В деяких випадках необхідно визначити чи отримана степінь покриття 25, 50, 75 або 100 % (рис. 2.3).

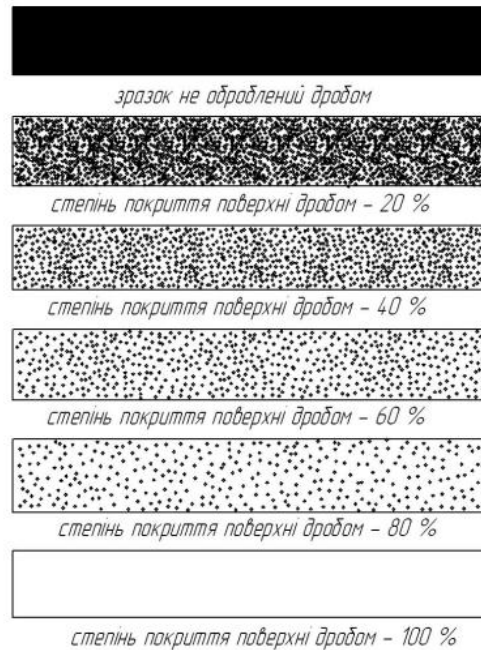
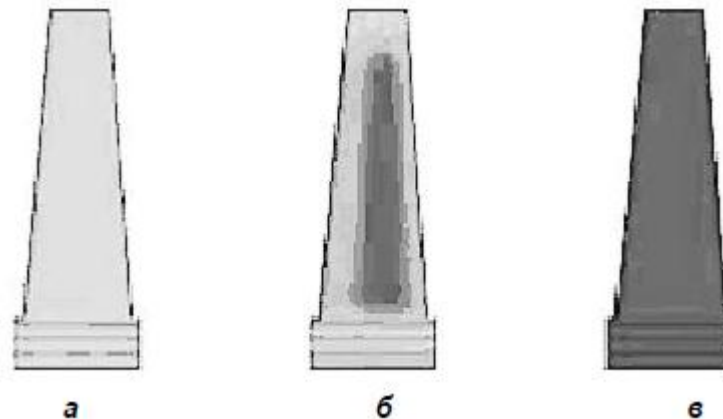


Рисунок 2.3 – Степінь покриття поверхні виробу відбитками дробу

Стандартом SAE 2277 для контролю степені покриття регламентований метод флуоресцентних фарб, який застосовують на багатьох зарубіжних підприємствах [38]. Суть цього методу показана на рис. 2.4.



а – деталь, не оброблена дробом зі заздалегідь нанесеною флуоресцентною фарбою; б -деталь, оброблена дробом, зі слідами часткового видалення флуоресцентної фарби і отриманням неповною степені покриття; в – деталь, оброблена дробом, з поверхні якої повністю видалена фарба, що свідчить о здобутті повної степені покриття

Рисунок 2.3 – Метод контролю степені покриття згідно SAE 2277

Деталь до зміцнення покривають флуоресцентною фарбою DYESCAN 220 або наносять фарбу маркером PEENSCAN PEN для створення плівки на

поверхні металу [39]. Цілісність плівки перевіряють перед дробоструминною обробкою. Для цього в темному приміщенні деталь освітлюють джерелом ультрафіолетового (УФ) випромінювання потужністю 100 Вт і з довжиною хвилі 365 нм. Після обробки дробом деталь повторно інспектують за допомогою ультрафіолетової лампи і зіставляють з контрольним зразком. Візуальна оцінка результатів обробки полягає в контролі зовнішнього вигляду і цілісності флуоресцентного лакофарбового покриття. Деталь після обробки дробом із слідами фарби має неповну степінь покриття; якщо фарба видалена з поверхні повністю і ділянок поверхні, що світяться, немає, то повна степінь покриття досягнута.

Описаний метод простий в застосуванні і дуже наочний, проте не позбавлений недоліків. Результат контролю дозволяє лише оцінити, чи досягнуте повне покриття поверхні відбитками, при цьому неможливо кількісно визначити міру покриття поверхні після зміцнення дробом.

Розширити можливості методу флуоресцентних фарб (SAE 2277) і адаптувати його для контролю степені покриття можна шляхом автоматизованої обробки зображення поверхні деталі після дії дробу. Використання ефекту світіння фарби на незміцнених поверхнях дасть можливість визначити відносну площу поверхні під фарбою і відносну площу зміцненої поверхні і таким чином визначити степінь покриття [40].

Дробоструминна обробка сприяє отриманню на поверхні підкладки шорсткого мікрорельєфу, що значною мірою впливає на міцність зчеплення плазмового покриття з основою за рахунок утворення механічного зачеплення, збільшення істинної площі контакту напиленої частинки з основою, очищення і активації поверхні підкладки, сприяє проходженню процесів міжатомної взаємодії.

У наш час проведена велика кількість досліджень в області підготовки поверхні до плазмового напилення, проте результати досліджень носять розрізнений характер, практично відсутні досить обґрунтовані вимоги до

параметрів мікрорельєфу поверхні підготовленої до плазмового напилення покриттів.

Важливим напрямом в дослідженні впливу дробоструминної підготовки поверхні на міцність зчеплення плазмових покриттів є з'ясування закономірностей впливу часу дробоструминної обробки на мікрорельєф оброблюваної поверхні.

3 ТЕХНОЛОГІЯ І ТЕХНІКА ДРОБОСТРУМИННОЇ ОБРОБКИ НАПИЛЮВАННОЇ ПОВЕРХНІ

Технологія плазмового напилення включає у себе три основні етапи: підготовку поверхні напилюваного виробу, напилення і обробку напиленого покриття. Однією з найважливіших характеристик якості покриттів є міцність зчеплення з основним матеріалом виробу.

При плазмовому напиленні струмоведучим дротом висока міцність зчеплення покриття з основою досягається за рахунок активації напилюваної поверхні, яку здійснюють шляхом дробоструминної або піскоструминної обробки.

У наш час проведена велика кількість досліджень у області підготовки поверхні до плазмового напилення, проте результати досліджень носять розрізнений характер, практично відсутні досить обґрунтовані вимоги до параметрів мікрорельєфу поверхні, підготовленої до напилення.

Тому виникає потреба у проведенні додаткових досліджень впливу мікрорельєфу поверхні, підготовленої до напилення на міцність зчеплення плазмового покриття з основою.

В наш час для дробоструминної обробки і зміцнення поверхні широко використовують сталеву і чавунну технічну дріб, яка в залежності від умов виготовлення може бути литою або колотою.

Для підготовки поверхні виробу під плазмове напилення покриттів використовується чавунна колота дріб ДЧК (рис. 3.1) з номінальним розміром 1,6 мм згідно з ГОСТ 11964-81.

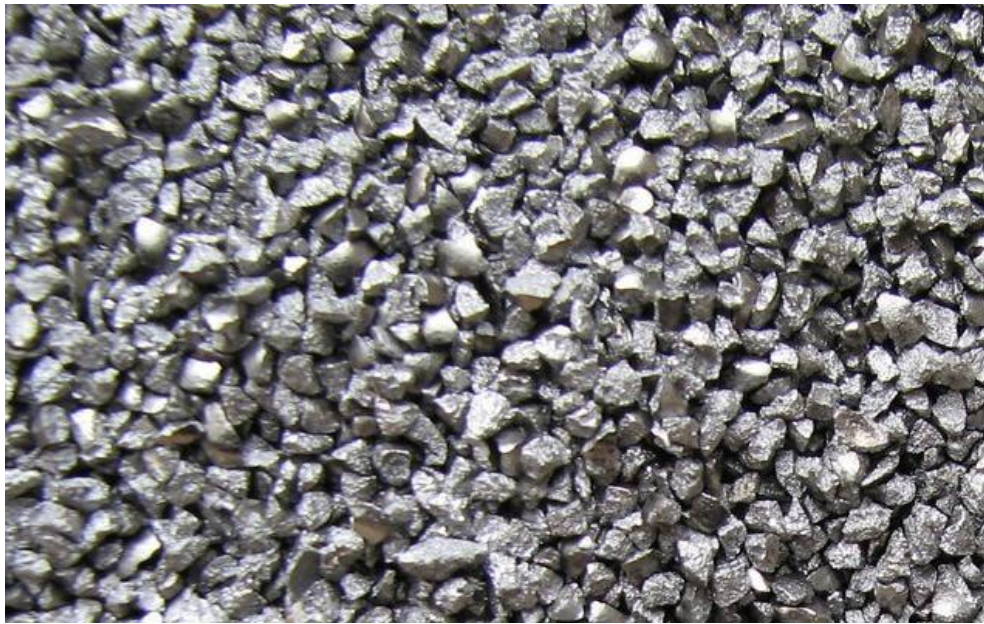


Рисунок 3.1 - Зовнішній вигляд дробу марки ДЧК 1,6 × 10

Це пояснюється тим, що гострокутні частинки дробу формують більш сприятливий для утворення міцного зчеплення плазмового покриття з основою мікрорельєф поверхні. При ударі такої частки відтворюються елементарні акти мікрорізання зі зняттям мікростружки і утворенням каналів-капіляр, що збільшують фактичну площу контакту плазмового покриття з підкладкою. При зіткненні з закругленими і сферичними частинками відбувається пластичне деформування (зминання) мікроучастків поверхні виробу.

Вибір марки матеріалу дробу між сталлю і чавуном, здійснюється у користь останньої у зв'язку з тим, що чавунна дріб має більшу твердість ніж сталева (табл. 3.1), що дозволяє їй заглиблюватися на більшу відстань в поверхню підкладки, формуючи сприятливий мікрорельєф оброблюваної поверхні.

Таблиця 3.1 - Фізико-механічні властивості дробу

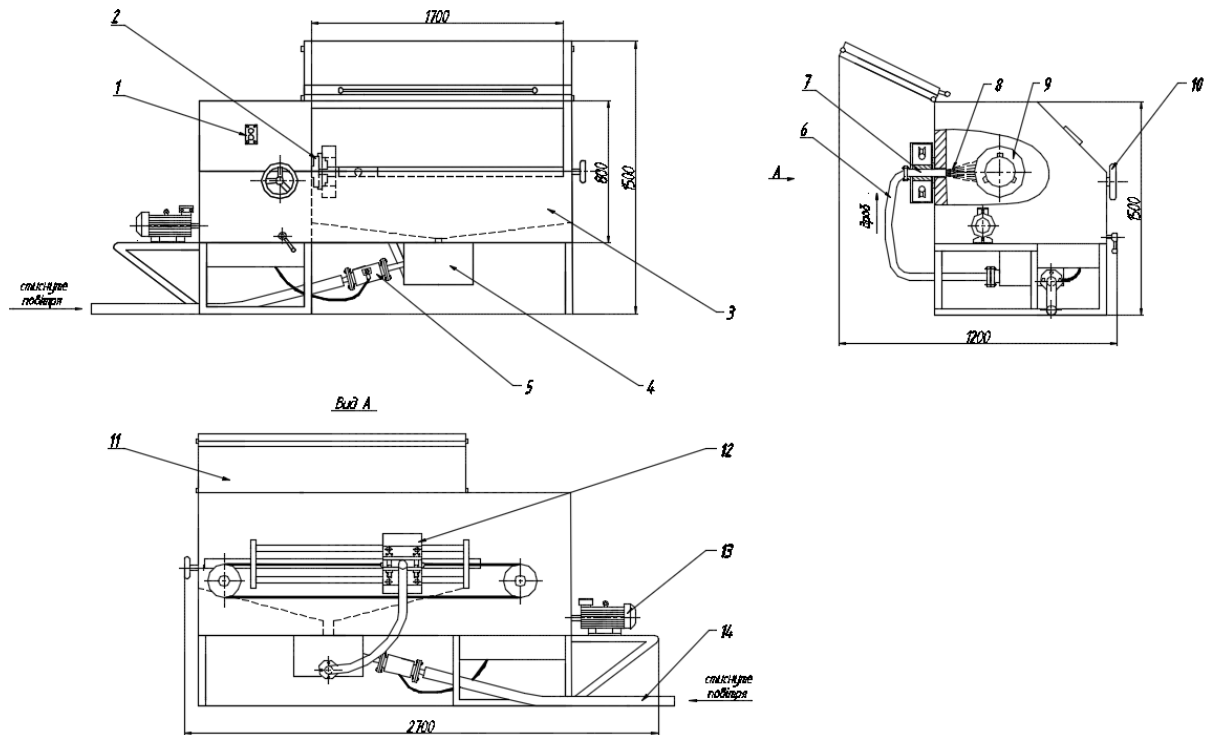
Тип дробу	Розмір дробу, мм	Щільність, кг/м ³	Твердість по HRC	Міцність при випробуванні на стиснення статичним навантаженням, Н
ДСК	0,1 – 2,2	7200	47...54	6500
ДЧК	0,1 – 2,2	7200	60...67	4000

Розміри дробу підбираються таким чином, щоб при дробоструминній обробці формувався мікрорельєф, що забезпечує отримання висоти мікронерівностей R_z на рівні $R_z = 80...90$ мкм, у поєднанні з утворенням каналів-капілярів, що мають розміри, порівнянними з розмірами напилюваних частинок.

3.1 Методика і обладнання для проведення дослідження

Нами були проведені дослідження впливу часу дробоструминної обробки на морфологію оброблюваної поверхні і міцність зчеплення плазмового покриття з підкладкою. В ході експерименту на плоских необроблених пластинах зі сталі Ст.3 товщиною 3 мм на протязі певного часу (2, 6, 12 с) за допомогою модернізованої установки дробоструминної обробки КСВ-130-М (рис. 3.2) підприємства «Плазматех» м.Запоріжжя створювалася певна шорсткість поверхні.

Дана установка нагнітаючого типу дозволяє проводити обробку на наступних режимах: при тиску стисненого повітря $P = 0,5...0,6$ МПа, швидкості чавунного колотого дробу ДЧК $V = 20...25$ м/с з номінальним розміром дробу $d = 1,6$ мм, питомій витраті дробу $b = 6,5...7,5$ кг/мін, відстані від сопла до оброблюваної поверхні $L = 200$ мм та куті обробки $\alpha = 90^\circ$.



1 – пульт керування подачею дробу; 2 – патрон; 3 – робоча камера; 4 – бункер з дробом; 5 – перепускний клапан; 6 – абразивостійкий шланг; 7 – сопло; 8 – факел дробу; 9 – бандаж; 10 – рукоять переміщення сопла відносно виробу; 11 – кришка; 12 – механізм переміщення сопла; 13 – електродвигун; 14 – шланг підводу стисненого повітря

Рисунок 3.2 - Установка дробоструминної обробки

На отриманих зразках проводилися дослідження мікрорельєфу оброблених поверхонь з використанням електронного профілометра моделі 170311 заводу «Калібр» (рис 3.3).

Дія приладу заснована на принципі обмацування алмазної голкою датчика досліджуваної поверхні і перетворення коливань голки в зміни напруги за допомогою механотронного датчика. Сигнал, що отримується з датчика, подається на електронний підсилювач, проходить через фільтри відсічок кроку, детектується, інтегрується і фіксується приладом магнітоелектричної системи.

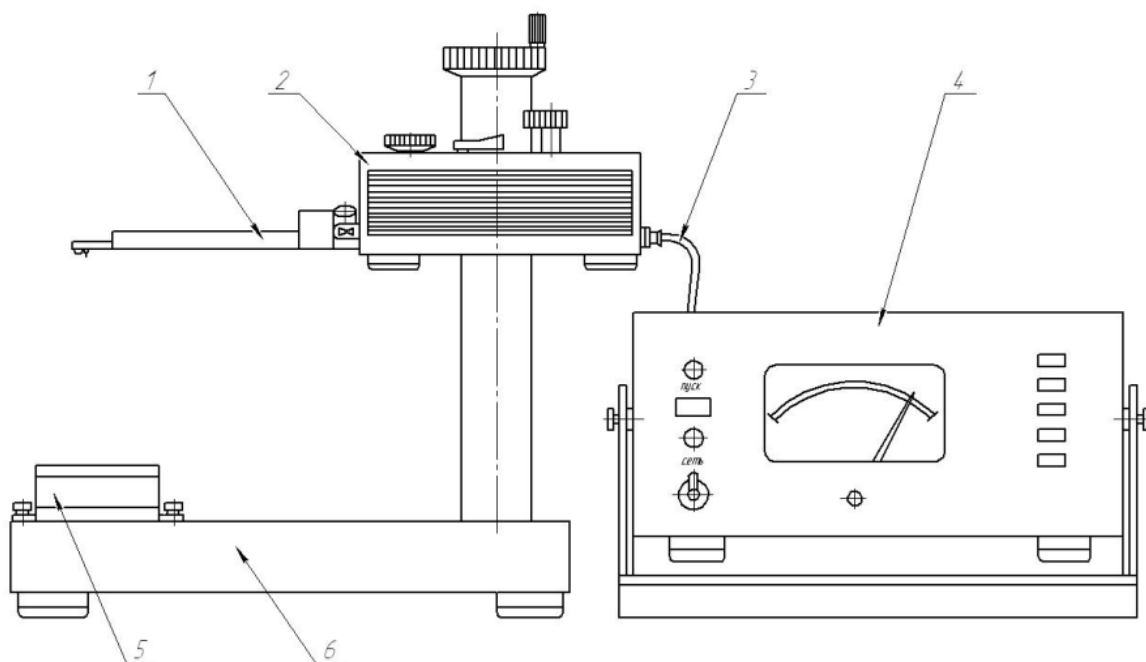


Рисунок 3.3 - Схема пристрою профілографа-профілометра «170311»

Датчик 1 перетворює лінійні коливання голки, відповідаючі нерівностям поверхні, в електричні сигнали, являє собою механічно керовану електронну лампу, рухливий анод якої за допомогою тонкої мембрани пов'язаний зі щупом. На щупі укріплена алмазна голка з радіусом закруглення 10 мкм. Переміщення датчика по вимірюваній поверхні здійснюється приводом 2. Датчик вставляється у гніздо штока приводу і стопориться гвинтом. Електронний блок 4 призначений для обробки електричних сигналів, які надходять з датчика, і видачі результатів вимірювання на виявлюючий прилад. Стійка 6 служить для установки робочого положення приводу з датчиком. Зразок 5 з регулярним профілем призначений для настройки приладу. Електричний зв'язок з електронним блоком здійснюється шлангом 3.

Отримані результати передавалися на ПК, оброблялися в програмному продукті «PowerGraph 3.3» (рис. 3.4) і узагальнювалися у вигляді графіків, зображень, отриманих на оптичному мікроскопі, профілограм поверхонь і фрактограм зламу плазмового покриття.

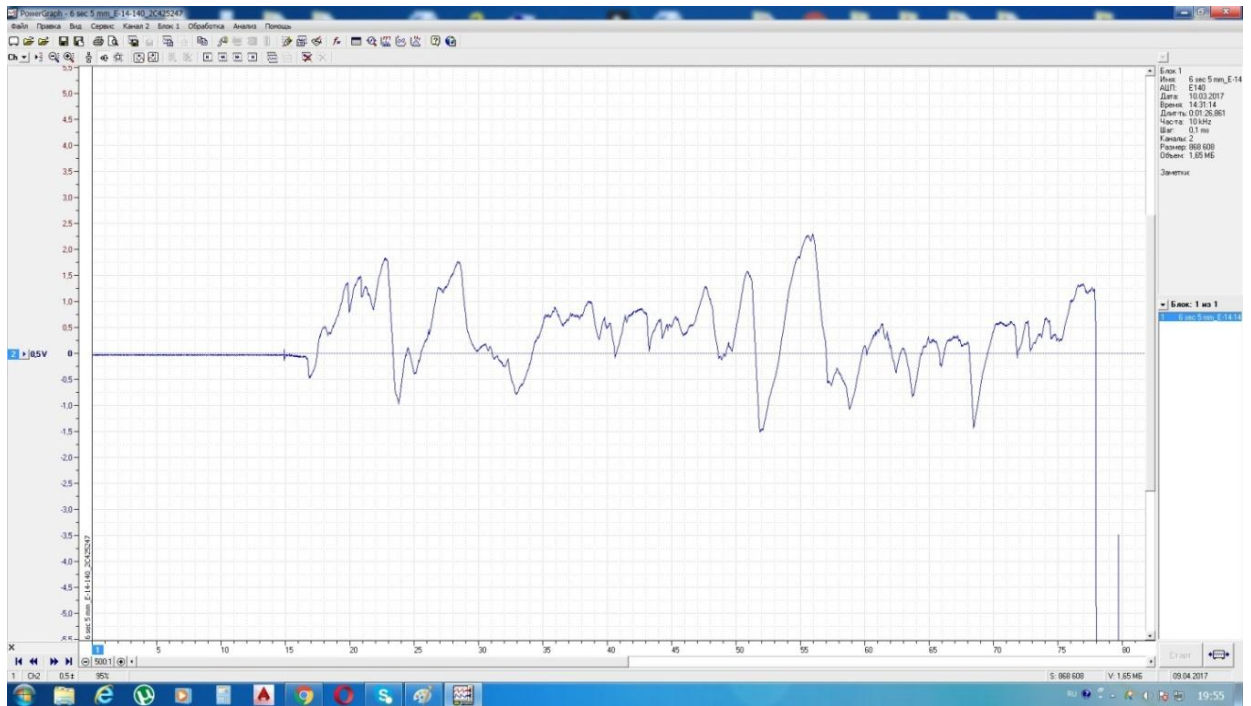


Рисунок 3.4 - Программный продукт «PowerGraph 3.3»

3.2 Результаты дослідження та їх обговорення

На графіку рис. 3.5, а чітко видно ділянку частих максимальних значень висоти мікрорельєфу поверхні, отриманих у часовому інтервалі 4...8 с. При менших значеннях 0...4 с максимальна висота мікронерівностей має місце тільки на окремих ділянках, а в інтервалі 8...12 с відбувається деяке зниження висоти, її стабілізація на певному рівні.

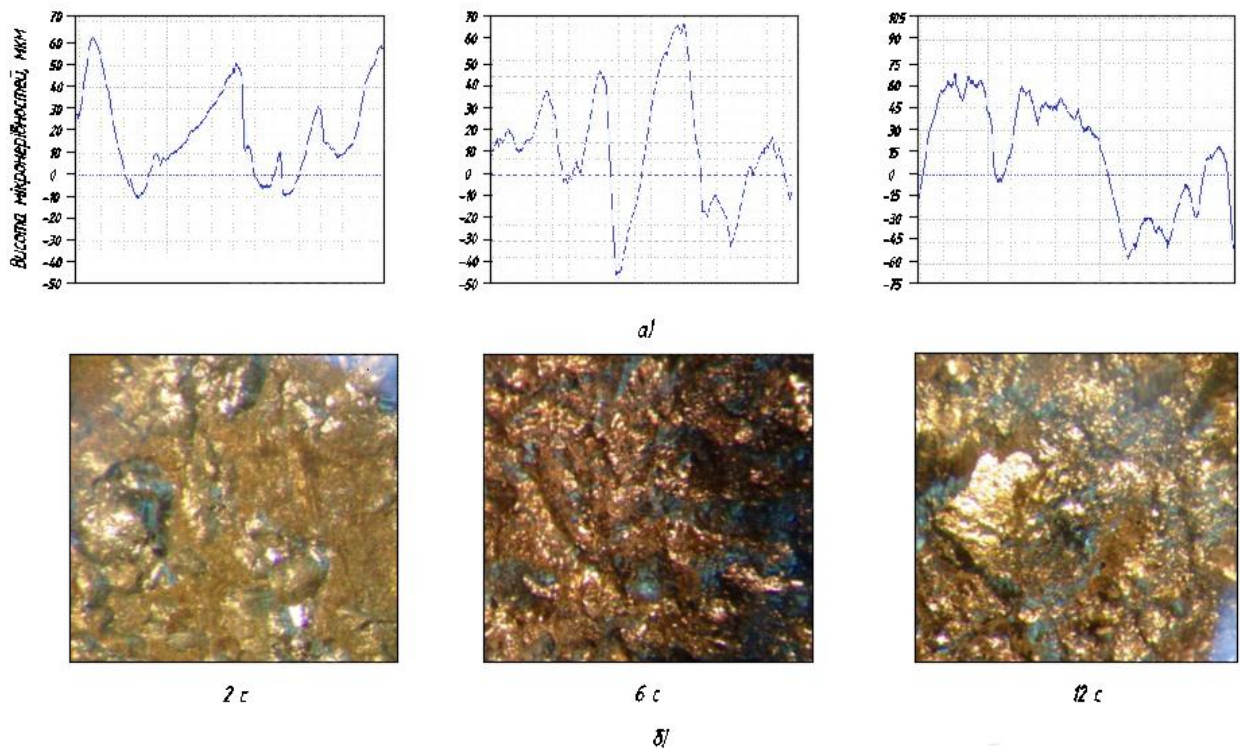


Рисунок 3.5 – Профілограмма (а) та вид зверху поверхні (б) обробленої дробом за певний час $\times 50$

На виді зверху (рис. 3.5, б) поверхні обробленої дробом за 2,с поряд з ділянками з оптимальним мікрорельєфом, видно місця не оброблені дробом, що дозволяє зробити висновок про отримання недостатньої шорсткості поверхні. Оптимальний мікрорельєф з рівномірним розподілом мікрорівнин і впадин на поверхні отримано у період 4...8 с, а в інтервалі 8...12 с відбувається змінання мікрорівнин, а також шаржування поверхні зразка абразивними частинками.

Отримані дані добре узгоджуються з проведеними раніше дослідженнями міцності зчеплення плазмового покриття напиленого струмоведучим дротом із бронзи БрКМц 3-1 на поверхню сталі Ст.3 (рис. 3.6, а). Максимальна міцність зчеплення плазмового покриття з підкладкою отримана в період 4...8 с, коли при обробці дробом на основі створюється оптимальний мікрорельєф, відсутні сліди змінання і шаржування поверхні.

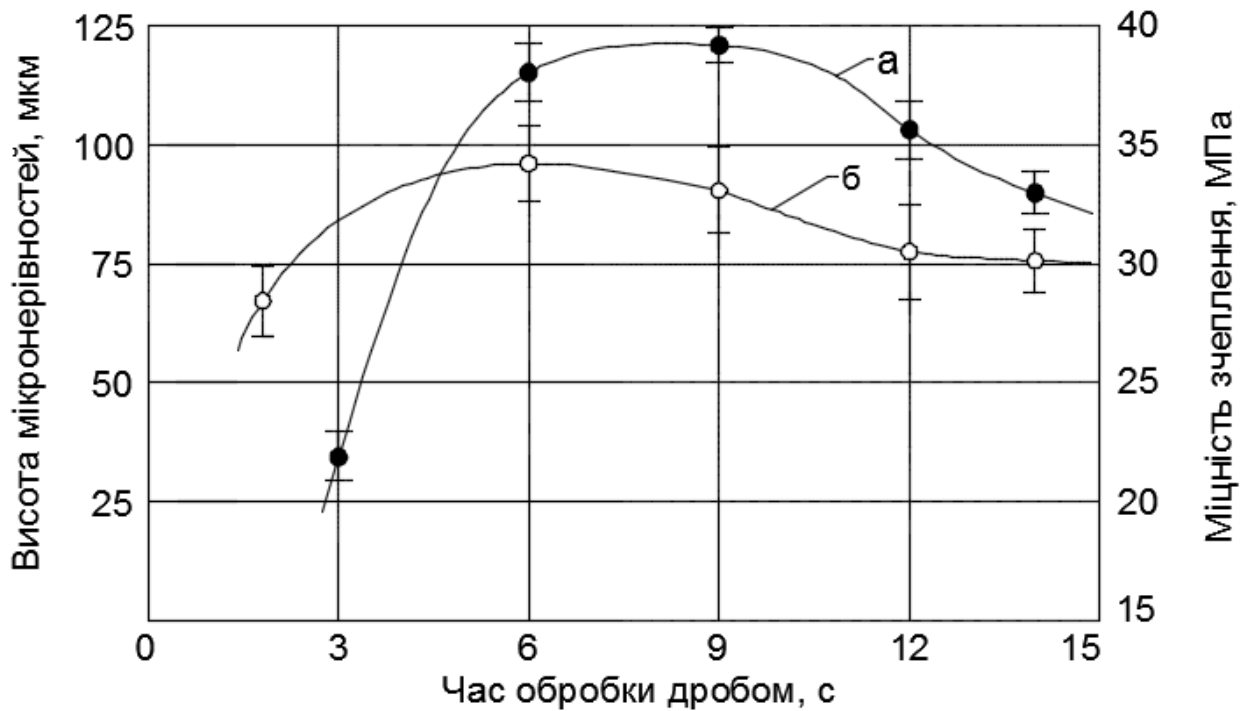


Рисунок 3.6 – Залежність міцності зчеплення з основою (а) та мікрорельєфу (б) від часу дробоструминної обробки при напиленні бронзи БрКМц 3-1 на сталь Ст.3

Згідно даних [35] більша міцність зчеплення досягається за рахунок кращої змочуваності поверхні при дробоструминній обробці, коли дроб пластично деформує поверхню, її активує, створює канали-капіляри куди проникає перегрітий метал, збільшуючи фактичну площу контакту, і тим самим забезпечує високу міцність зчеплення перегрітих металічних частинок з основою.

Раніше у роботі [41] було виявлено що найбільшу кількість у плазмовому струмені (80-90 %) складають частинки розміром 0,1...0,4 мм. Згідно цього було побудовано залежність оптимального співвідношення розмірів розпилюваних частинок та мікрорельєфу (рис. 3.7), що забезпечує найбільшу міцність покриття, нанесеного струмоведучим дробом.

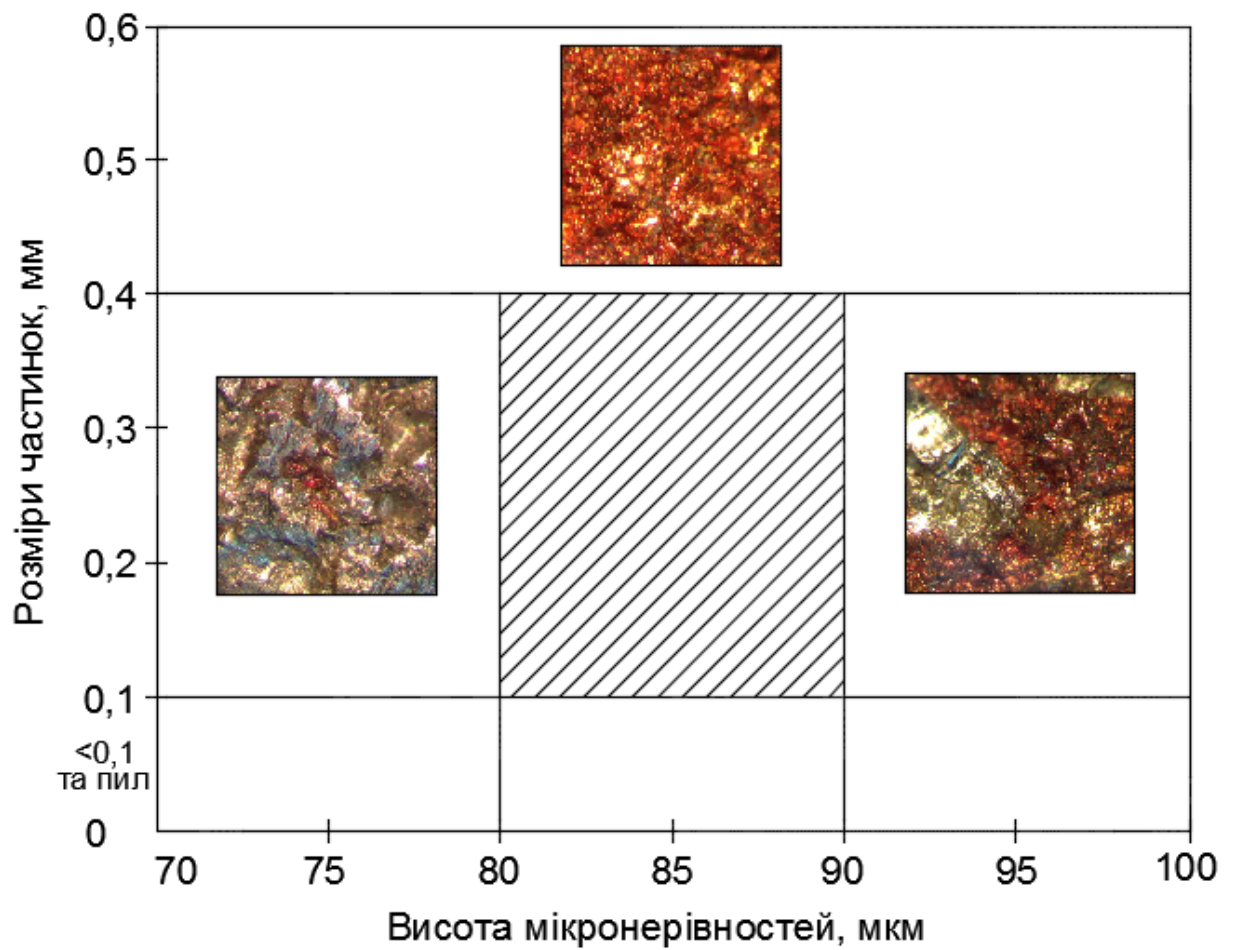


Рисунок 3.7 – Оптимальне співвідношення розмірів розпилюваних частинок та мікрорельєфу, що забезпечує найбільшу міцність плазмового покриття

Оптимізація процесу плазмового напилення струмоведучим дротом досягається створенням необхідної шорсткості поверхні R_z у межах 80...90 мкм у поєднанні з розмірами розпилюваних частинок 0,1...0,4 мм.

4 ТЕХНІЧНІ УМОВИ НА ВИГОТОВЛЕННЯ І ПРИЙМАННЯ НАПИЛЮВАННИХ ВИРОБІВ

4.1 Вимоги до кваліфікації робітників

1. До виконання робіт з дробоструминної обробки виробів допускаються оператори дробоструминних установок, що мають розряд не нижче 4, кваліфікація яких повинна відповідати вимогам «Єдиного тарифно-кваліфікаційного довідника робіт і професій робітників».

2. Роботи також може виконувати робітник, що пройшов додаткову теоретичну і практичну підготовку на установках дробоструминної обробки, має посвідчення на право виконання відповідальних робіт, витримав теоретичні і практичні випробування.

3. До роботи на установках плазмового нанесення покриттів слід допускати кваліфікованих фахівців в області зварювальної техніки після відповідного навчання на конкретному устаткуванні.

4. До роботи на устаткуванні не допускаються особи молодше 18 років. Фахівці, працюючі на установках для плазмового нанесення покриттів, повинні знати «Правила пристрою і безпечної експлуатації судів, працюючих під тиском», мати кваліфікаційну групу по електробезпеці не нижче другою.

5. До виконання робіт по нанесенню плазмових покриттів допускаються оператори плазмових установок, що мають розряд не нижче 5, кваліфікація яких повинна відповідати вимогам «Єдиного тарифно-кваліфікаційного довідника робіт і професій робітників».

6. Роботи також може виконувати зварювальник, що пройшов додаткову теоретичну і практичну підготовку на установках плазмового напилення покриттів, має посвідчення на право виконання відповідальних робіт, витримав теоретичні і практичні випробування.

4.2 Контроль якості електродних матеріалів

Контроль якості порошкового дроту ПП-Нп-100Х15Н2Г2Р для плазмового наплення здійснюється на основі ГОСТ 26101-84:

1. Діаметр дроту та його граничні відхилення повинні відповідати вказаним у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Діаметр дроту і його граничні відхилення

Номінальний діаметр дроту	Граничне відхилення	
	для дроту 1-ої категорії якості	для дроту вищої категорії якості
1,6	-0,08	-0,06

2. Поверхня дроту має бути без вм'ятин, надривів, іржі. Допускаються подовжні риски і сліди волочильного мастила.

3. Порошок-наповнювач повинен заповнювати дріт без пропусків і нещільностей. Різниця найбільшого і найменшого значень коефіцієнта заповнення дроту порошком-наповнювачем має бути не більше: 4 % для дроту 1-ої категорії якості і 3,5 % для дроту вищої категорії якості.

4. Хімічний склад і його граничні відхилення приведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Хімічний склад порошкового дроту

Марка дроту	Масова доля елементів, %								
	C	Cr	Mn	Ni	B	Si	Інші	S	P
								Не біль- ьш	Не біль- ьш
ПП-Нп-100Х15Н2-Г2Р	0,80 - 1,00	14,0 -1 6,00	1,60 -2,20	2,00-3,0 0	0,60-0,8 0	Не більш 0,06	-	0,0 30	0,03 0

5. Дріт приймають партіями. Партія повинна складатися з дроту однієї марки, одного діаметру, одного і того ж сировинного матеріалу і оформлена одним документом про якість що містить:

- товарний знак або найменування підприємства-виготівника і товарний знак;
- умовне позначення дроту;
- номер партії;
- кількість мотків, барабанів або котушок;
- масу нетто дроту в кілограмах;
- штамп технічного контролю;
- дату виготовлення.

6. Для перевірки якості порошкового дроту від партії відбирають:

- для перевірки якості поверхні, розмірів дроту, розмірів мотків - 3 % мотків, барабанів або котушок;
- для перевірки якості заповнення дроту наповнювачем - 3 % мотків, барабанів або котушок, але не менше п'яти мотків, барабанів або котушок;

7. Відносну витрату дроту і твердість напиленого покриття визначають на вимогу мастера.

8. При отриманні незадовільних результатів випробувань хоч по одному з показників проводять повторні випробування на подвоєній кількості мотків, барабанів або котушок дроту з числа тих, що не піддавалися випробуванням. Результати повторних випробувань поширюються на усю партію.

9. Методи випробувань:

- якість поверхні дроту перевіряють без застосування збільшувальних приладів;
- діаметр дроту вимірюють з погрішністю не більше 5 мкм вимірювальним приладом відповідної точності в двох взаємно перпендикулярних напрямках одного перерізу дроту не менше чим на двох ділянках мотка, барабана, або котушки;

- діаметр мотка вимірюють з погрішністю не більше 5 мм вимірювальним інструментом відповідної точності;

- для визначення коефіцієнта заповнення дроту порошком-наповнювачем від кожного з відібраних для випробування мотків відрізають по одному зразку завдовжки 120-150 мм. Зразок зважують з погрішністю не більше 0,01 г, розкривають, ретельно очищають оболонку від порошк-наповнювача, потім оболонку зважують і для кожного зразка визначають коефіцієнт заповнення по формулі:

$$K_z = \frac{m - m_{zp}}{m} \cdot 100 \%, \quad (4.1)$$

10. Твердість напиленого покриття визначають по методу Роквеллу (ГОСТ 9013-59) або методу Бринелля (ГОСТ 9012-59), як середньоарифметичне значення за умови виконання не менше трьох вимірів. Допускається застосування інших стандартних методів виміру твердості.

Контроль якості газоподібного аргону для плазмового напилення здійснюється на основі ГОСТ 10157-79:

1. За фізико-хімічними показниками газоподібний аргон повинен відповідати нормам, вказаним в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Фізико-хімічні показники газоподібного аргону

Найменування показника	Норма	
	Вищий сорт	Перший сорт
1. Об'ємна доля аргону, %, не менше	99,995	99,987
2. Об'ємна доля кисню, %, не більше	0,007	0,002
3. Об'ємна доля азоту, %, не більше	0,005	0,01
4. Об'ємна доля водяного пару, %, не більше, що відповідає температурі насичення аргону водяними парами при тиску 101,3 кПа (760 мм рт. Ст.), °С, не вище	Мінус 61	Мінус 58
5. Об'ємна доля суми вуглецевістких сполук у перерахунку на CO ₂ , %, не більше	0,0005	0,001

2. Газообразний аргон приймають партіями. Партією вважають будь-яку кількість продукту, однорідного за показниками якості і оформленого одним документом про якість.

Кожна партія газоподібного аргону повинна супроводжуватися документом про якість, що містить наступні дані:

- найменування підприємства-виготівника і його товарний знак;
- найменування продукту, його сорт;
- дату виготовлення;
- номер партії, номер балона;
- об'єм газоподібного аргону в кубічних метрах;
- результати проведених аналізів або підтвердження про відповідність продукту вимогам справжнього стандарту.

3. Для контролю споживачем якості газоподібного аргону відбирають 10 % балонів від партії, але не менше двох балонів при партії менше 20 балонів.

4. При отриманні незадовільних результатів аналізу проводять по ньому повторний аналіз на подвоєній вибірці. Результати повторного аналізу поширюються на усю партію.

4.3 Загальні положення з технології підготовки поверхні бандажу до напилення, методи і обсяг контролю якості

1. Перед напиленням поверхню бандажу піддають дробоструминній обробці з метою активації поверхні і видалення різних забруднень, оксидів і продуктів корозії.

2. Обробку деталі здійснювати тільки по напилюваній поверхні.

3. Шорсткість поверхні після обробки повинна знаходитися в межах $R_z = 80 \dots 90$ мкм згідно з ГОСТ 2789-73.

4. Поверхня повинна мати рівномірну шорстку конфігурацію з відсутністю ділянок не оброблених дробом, має бути матовою, сірого кольору без блискучих ділянок.

Контроль шорсткості виконувати візуальним оглядом, при необхідності порівнянням з контрольними зразками шорсткості.

4.4 Методи, обсяг контролю і критерії оцінки якості готових виробів, засоби виправлення дефектів

1. Візуальний контроль слід виконувати без застосування спеціальних оптичних приладів. Допускається візуальний контроль здійснювати із застосуванням луп згідно з ГОСТ 7595-75 не більше, ніж з десятиразовим збільшенням.

2. Візуальний контроль напилених виробів виконують з метою визначення місць покриття зі слідами відшаровування, розтріскування та ін., які слід усувати згідно з даними таблиці. 4.4.

Таблиця 4.4 – Можливі дефекти плазмового способу нанесення покриттів та методи їх усунення

Дефект	Причини	Способи усунення
Відшаровування напилюваного шару	Неправильно підготовлена конфігурація напилюваної ділянки, незадовільна якість підготовки поверхні (наявність жирових плям, мала шорсткість, наявність вологи або олії в стислому повітрі і т.п.)	Видалити дефектне покриття, підготувати конфігурацію напилюваної ділянки відповідно до вимог. Видалити дефектне покриття, ввести операцію напилення підшару.
Розтріскування покриття	Високі внутрішні напруження в покритті	Брак неусувний. Посилити охолодження підкладки при напиленні, за можливістю збільшити дистанцію напилювання, понизити електричну потужність, збільшити швидкість переміщення плазмотрону (чи виробу), зменшити товщину покриття, що наноситься за один прохід.
Поява на поверхні покриття крапель міді	Підвищена ерозія сопла у результаті його зношування або погіршення повітряного охолодження	Брак неусувний. Перевірити центрування електроду і витрату охолоджувального повітря, у разі його падіння усунути причину.
Різновисочинність покриття (вище за допустиму)	Нерівномірне переміщення плазмового струменю відносно поверхні напилення	Брак неусувний. Відрегулювати роботу системи переміщення плазмотрону і виробу.

2. Вимірjuвальний контроль напиленого виробу проводять для перевірки:

- товщини напиленого покриття;
- твердості нанесеного покриття.

3. Вимірjuвальний контроль повинен проводитися після візуального контролю або одночасно з ним.

4. При вимірjuвальному контролі повинні використовуватися такі засоби вимірів:

- штангенцикуль згідно з ГОСТ 166-80;
- індикаторні скоби згідно з ГОСТ 10198-75;
- універсальний ручний твердомір моделі Т-УДЗ.

5. Допускається застосування інших засобів вимірювання, що пройшли державні випробування або метрологічну атестацію.

6. Оформлення результатів візуального і вимірювального контролю виконують відповідно до прийнятої на підприємстві НТД. У журнал слід записати:

- дату проведення контролю;
- найменування виробу;
- номер клейма або прізвище оператора установки;
- підпис виконавця контролю про приймання.

7. Оцінку якості напиленого покриття слід виконувати відповідно до норм, вказаних в нормативно-технічній документації на контроль виробу.

5 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ПЛАЗМОВОГО НАПИЛЕННЯ БАНДАЖІВ ВОЛОЧИЛЬНОГО СТАНУ

Призначені для відновлення бандажі передаються замовником на підприємство з супровідною документацією, що визначає об'єм і характер виконуваних робіт (робочі креслення бандажа, технічні вимоги, що стосуються геометричних розмірів бандажа після напилення, хімісклад сталі, з якої виготовлений бандаж).

Усі ушкодження бандажа мають бути відображені в ремонтній документації з зазначенням характеру ушкодження і методу відновлення.

До відновлення допускаються бандажі, що мають знос, сколи, тріщини глибиною не більше 2 % в межах розрахункового діаметру бандажа.

При зносі бандажа, що перевищує 3,5 мм на сторону, відновлення бандажа плазмовим напиленням не допускається.

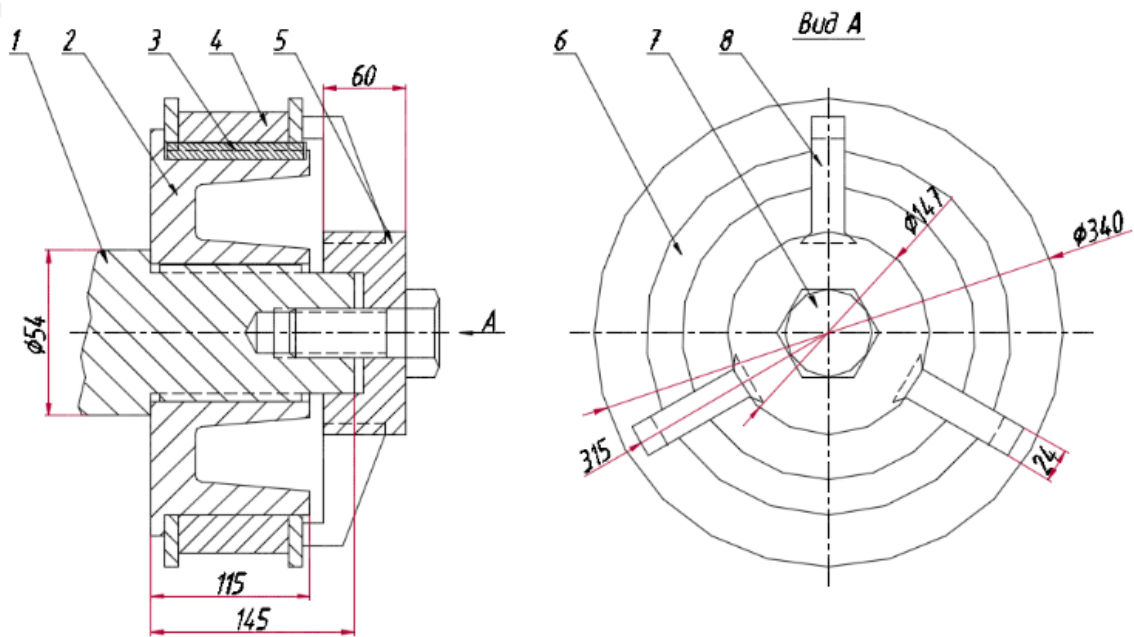
5.1 Умови експлуатації бандажу тягнучого ролика волоочильного стану

Передача руху дроту на машинах грубого волочіння типу ВСК-13 здійснюється тягнучими роликами (рис. 5.1).



Рисунок 5.1 – Стан грубого волочіння типу ВСК-13

Тягнучи ролики виконують цілісними або складеними (рис. 5.2).



1 – шліцьовий вал; 2 – основа; 3 – шпонка; 4 – бандаж; 5 – шайба; 6 – фланець; 7 – болтове з'єднання; 8 – знімний притискальний елемент

Рисунок 5.2 – Конструкція тягнучого складеного ролика

Вал 1 з'єднується з основою 2 за допомогою шліцьового з'єднання. У основі 2 і внутрішніх поверхнях бандажа 4 і двох фланців 6 виконаний шпонковий паз, в який встановлюють шпонку 3. У поверхні шайби 5 і валу 1 нарізано різьблення під шестигранний болт 7, при затягуванні якого притискні пластини 8 чинять тиск на стінки фланців 6 і бандажа 4, забезпечуючи їх надійний притиск до технологічного паза основи 2.

Робочою поверхнею, яка сприймає значні контактні динамічні навантаження в умовах тертя метал по металу, є бандаж тягнучого ролика.

Матеріалом бандажа слугує підшипникова сталь марки ШХ-15СГ, яка має наступний хімічний склад (атом. %) [42]: С 0,95-1,05 %; Si 0,40-0,65 %; Mn 0,90-1,20 %; Cr 1,30-1,65 %; P не більше 0,027 %; S не більше 0,020 %; Ni до 0,30 %; Cu до 0,25 %. Ця марка сталі забезпечує ресурс роботи бандажу на протязі 38-42 робочих змін.

Проте у процесі роботи в результаті порушення режимів експлуатації устаткування, низької якості вихідного матеріалу (катанки) та ін.

технологічних причин відбувається зношування робочої поверхні бандажа (рис. 5.3).

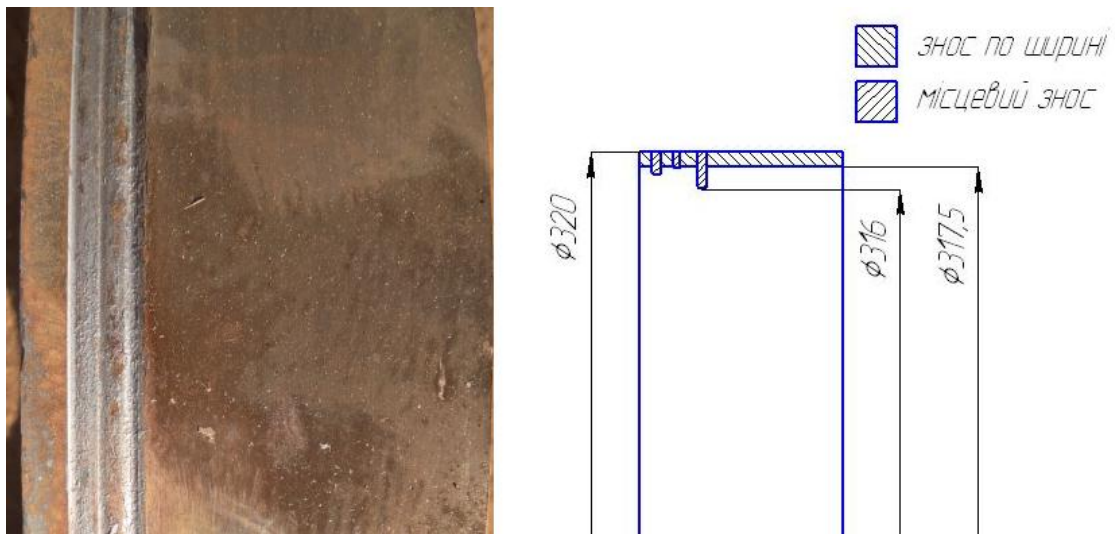


Рисунок 5.3 – Знос робочою поверхні бандажу

За даними [43] на машинах, де порушено оптимальне співвідношення діаметрів тягнучих роликів та дроту і величина цього співвідношення нижче 50, відбувається різко виражений знос робочої поверхні роликів (бандажа), так, що через 100 ч роботи доводиться зупиняти стан і робити їх заміну.

Технологічним процесом, що дозволяє істотно підвищити ресурс роботи бандажів тягнучих роликів - є плазмове напилення.

Раніше для відновлення бандажів використовували технологію плазмового напилення порошковими матеріалами марки ВСНГН-35 і СНГН-50 для напилення шаром завтовшки до 1,5 мм, з подальшим оплавленням ацетиленовим пальником, проточкою на токарному верстаті і алмазним вигладжуванням [35].

Недоліком цієї технології є застосування значної кількості дорогих матеріалів, які входять до складу порошкових сумішей для напилення (містять нікелю Ni - від 45 до 80 %, вольфраму W - до 35 %), введення додаткових операцій (оплавлення) та використання складного, дорогого обладнання.

Використання наплавлення є недоцільним при відновленні бандажів, тому що гарячі та холодні тріщини, які виникають при наплавленні

унеможливають експлуатацію бандажу при високих контактних динамічних навантаженнях.

Тому для відновлення бандажів тягнучих роликів була обрана технологія плазмового напилення струмоведучим дротом ПП-100Х15Н2Г2Р.

Ця марка дроту забезпечує отримання структури напиленого покриття з високою зносостійкістю за рахунок утворення у ньому карбідів, боридів, карбо-боридів, які мають високу мікротвердість. Отримувана твердість плазмового покриття знаходиться на рівні 54...57 HRC, що дещо нижче початкової (62...64 HRC), проте мікротвердість зміцнюючих фаз складає 15-22 ГПа, що значно вище за мікротвердість основи (~9 ГПа).

5.2 Підготовка виробу до напилення

Підготовка виробу до напилення плазмового покриття здійснюється в три етапи:

1. Термічна обробка виробу;
2. Проточка дефектних ділянок поверхні;
3. Дробоструминна обробка.

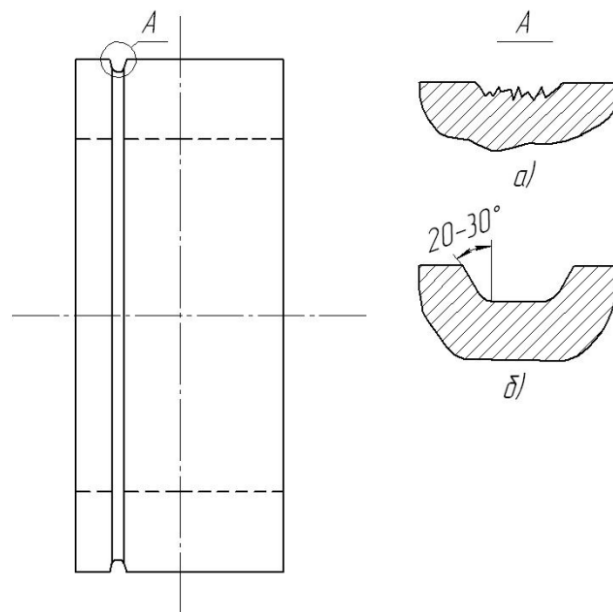
Для зняття напружень і зменшення твердості бандажу виготовленого із загартованої підшипникової сталі ШХ-15СГ для подальшої проточки дефектних ділянок поверхні бандажу і її дробоструминної обробки застосовують термічну обробку - відпуск.

Режими відпуску вказані в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Режим відпуску бандажу сталі ШХ-15СГ

Марка сталі	Тривалість відпуску, ч	Твердість, HRC	
		При кімнатній температурі $T = 23\text{ }^{\circ}\text{C}$	При температурі відпуску $T = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$
ШХ-15СГ	6	65	38

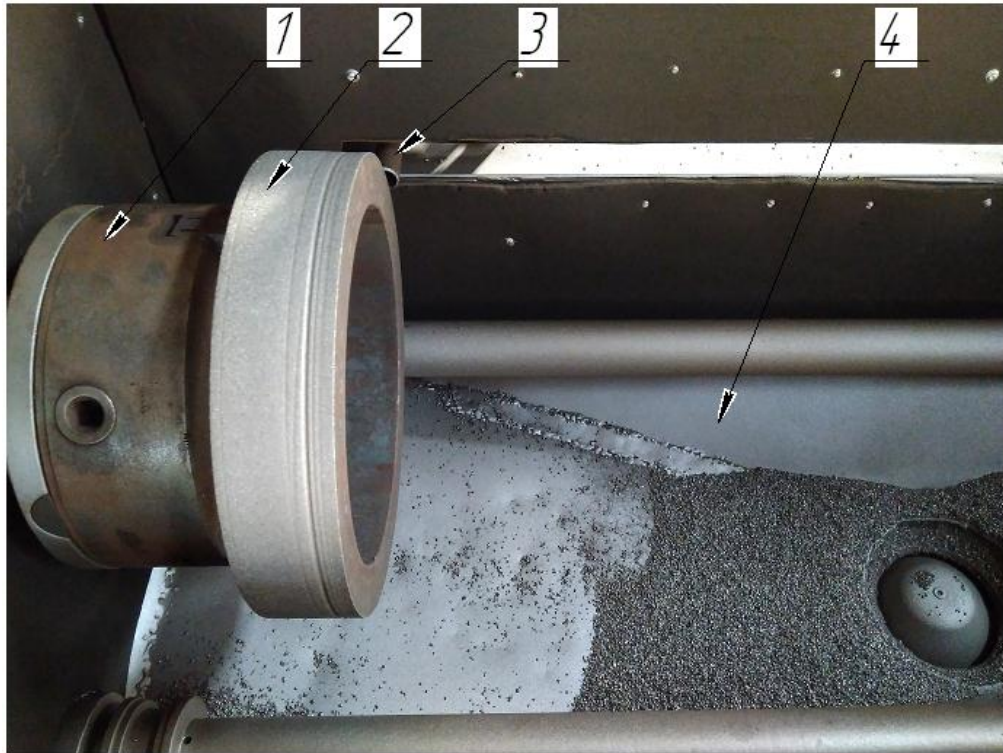
Після термічної обробки бандажів, деталь поступає на ділянку оброблення дефектів, де контролер оглядає поверхню бандажів і керуючись ремонтною відомістю підприємства-замовника відмічає на ній дефекти (прорізи, сколи і тріщини в покритті, глибокий знос), що підлягають обробленню. Після контролю деталь з відміченими дефектними ділянками встановлюється на токарний верстат моделі 1К62, де робиться проточка дефектних місць, згідно схеми оброблення рис. 5.4.



а – дефект (прорізь, скол або тріщина); б – обробка дефектної ділянки

Рисунок 5.4 - Схема обробки дефектної ділянки

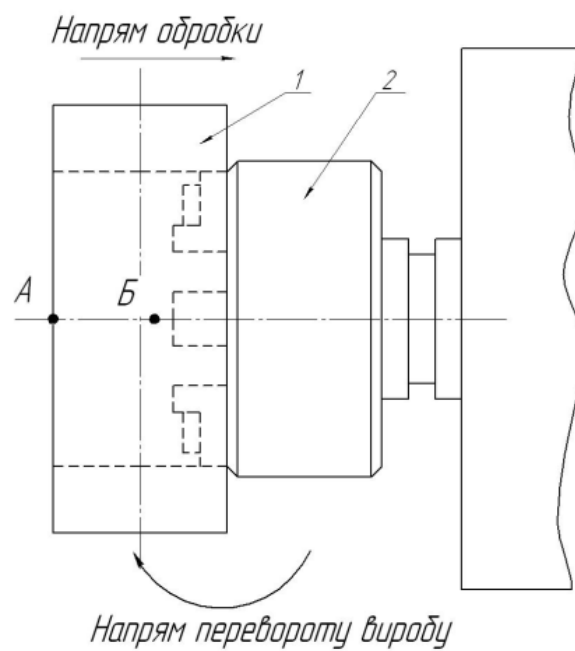
Після видалення дефектів деталь поступає на ділянку дробоструминної обробки, де відбувається підготовка поверхні бандажу до нанесення плазмового покриття (рис. 5.5).



1 – патрон; 2 – виріб; 3 – сопло; 4 – робоча камера

Рисунок 5.5 – Установка бандажу в камері дробоструминної обробки

Деталь 2 закріплюється у центруючому трикулачковому патроні 1. Потім до краю деталі в положення А згідно схеми (рис. 5.6) під кутом 90° підводиться сопло.



1 – деталь; 2 – патрон

Рисунок 5.6 – Схема обробки дробом поверхні бандажу

Після того, як виставили сопло дробоструминної установки в положення А необхідно закрити кришку дробоструминної камери, включити послідовно пускову кнопку обертання деталі і механізм подачі дробу в робочу камеру 4 і плавно обертаючи ручку переміщення сопла дробоструминної установки здійснити обробку упродовж 12-15 секунд, перемістивши сопло в положення Б. Обробку здійснювати згідно з режимом, зазначеним в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Режим дробоструминної обробки

Параметр	Значення
Тиск стисненого повітря Р, МПа	0,5...0,6
Швидкість дробу V, м/с	25...30
Марка і розмір дробу d, мм	ДЧК 1,6
Витрат дробу b, кг/мін	7,0
Відстань від сопла до оброблюваної поверхні l, мм	190...200
Кут обробки, град °	90
Діаметр сопла, мм	20

Потім деталь знімають з установки, перевертають у зворотному напрямі (згідно схеми, рис. 5.6) і здійснюють операцію дробоструминної обробки ділянок, не оброблених дробом.

Після дробоструминної обробки здійснюють контроль виробу. Поверхня повинна мати рівномірну шорстку конфігурацію з відсутністю ділянок не оброблених дробом, має бути матовою, сірого кольору без блискучих ділянок.

Після проходження контролю деталь обдувають стислим повітрям для видалення частинок дробу, знімають з установки у бавовняних рукавичках або за допомогою чистого інструменту, укладають в тару і переміщують на ділянку плазмового напилення покриттів.

Перерва між дробоструминною обробкою і нанесенням покриття не повинна перевищувати 2-4 ч.

5.3 Вибір електродних матеріалів для напилення

Робоча поверхня бандажів повинна мати високий опір зношуванню в умовах тертя металу по металу з високими динамічними навантаженнями. Для цієї мети плазмове напилення зносостійкого шару необхідно виконувати використовуючи порошковий дріт ПП-100Х15Н2Г2Р діаметром $d = 1,6$ мм (таблиця. 5.3.).

Ця марка дроту дозволяє істотно збільшити зносостійкість бандажів волочильного стану в умовах тертя метал по металу зі значними динамічними навантаженнями за рахунок отримання значної долі зміцнюючої фази, яка має високу твердість і міцно утримується металевою матрицею.

Таблиця 5.3 – Характеристики напилюваного дроту

Марка дроту	Тип напилюванно-го матеріалу	Діаметр, мм	Середня твердість		Умови роботи, об'єкти використання
			після напилення	Після термообробки чи гартування	
ПП-У10Х15-Н2Г2Р	100Х15Н2Г2Р	1,6	56	-	Тертя металу об метал при знакозмінних і ударних навантаженнях , у поєднанні з абразивним зношуванням(колінчасті вали, ролики конвеєрів, кранові колеса, деталі металургійного обладнання); корозійне, гідроабразивне зношування (шийки колінчатих валів, гребні вали суден);

В якості плазмоутворюючого газу застосовується газ Ar високої чистоти, який одночасно виконує захисну функцію, витісняючи повітря з робочого простору, створює інертну атмосферу навколо потоку напилюваних частинок.

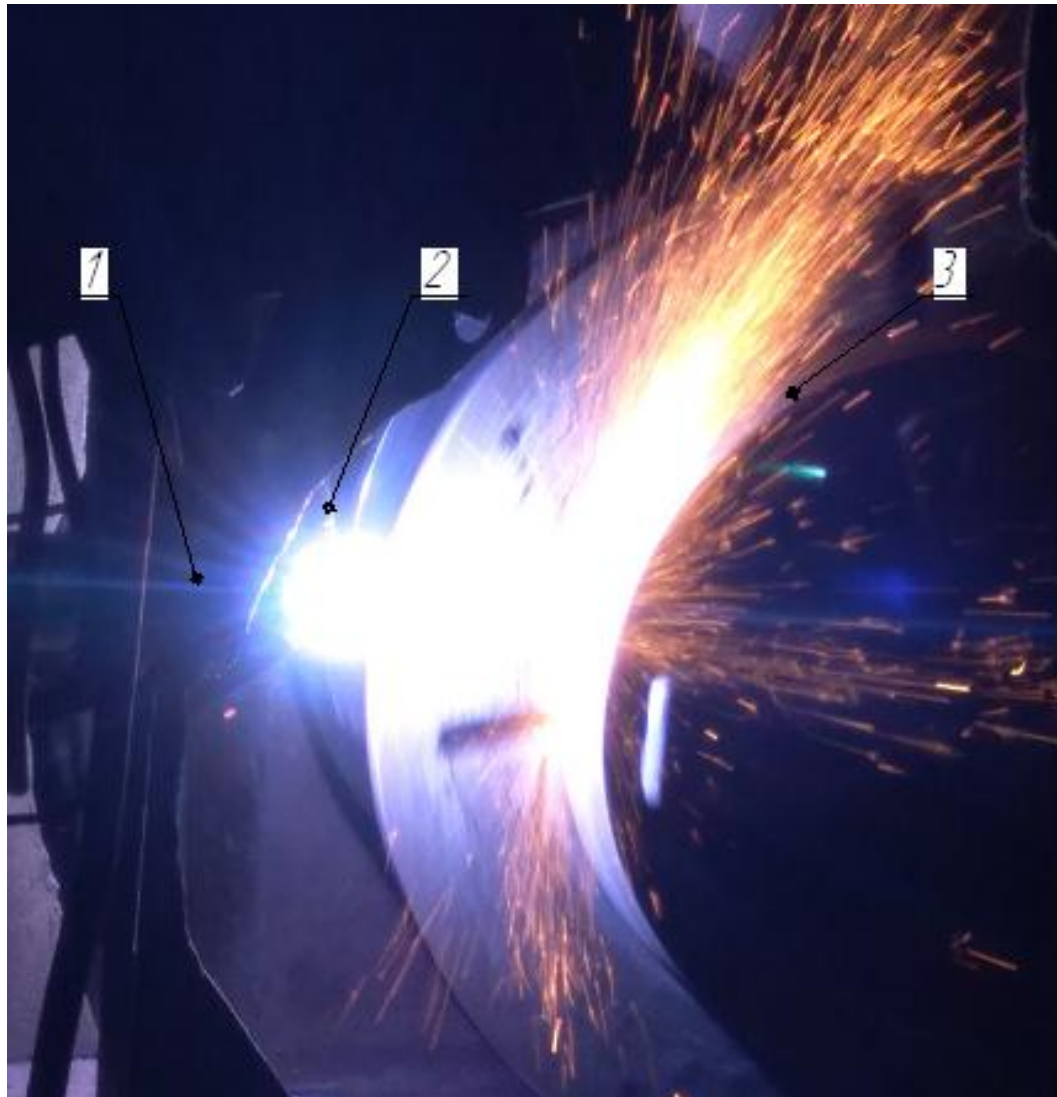
5.4 Плазмове напилення струмоведучим дротом відновлюваної поверхні бандажу

Після дробоструминної обробки деталь поступає на ділянку плазмового напилення покриттів, де її встановлюють в пристосування, яке затискають в патроні установки (рис. 5.14).

Потім використовуючи значення, зазначені в таблиці 5.4 виконують налаштування установки для напилення:

1. Направляють вісь плазмотрона під кутом $70-90^\circ$ по відношенню до осі напилюваної деталі, виставляють дистанцію напилення $L_{\text{нап}}$.
2. Встановлюють котушку з дротом, регулюють швидкість подачі дроту $V_{\text{пд}}$.
3. Приєднують балон з плазмоутворюючим газом (Ar), перевіряють герметичність балону, регулюють витрату робочого газу Q_{Ar} . Підводять шланг з охолоджувальним плазмотрон газом (стисле повітря).
4. На пульті керування установки виставляють значення сили струму I і напруги U .
5. Встановлюють швидкість обертання деталі $V_{\text{об}}$, задають її обертання відносно осі плазмотрону.
6. Виставляють плазмотрон у крайнє положення по відношенню до осі виробу.
7. Вмикають подачу плазмоутворюючого газу (Ar) і охолодження плазмотрону.

8. Використовуючи допоміжну пластину, здійснюють пуск чергової дуги і встановлення процесу плазмового напилення. Якщо плазмовий струмінь з розпиленими частинками спрямований концентровано по відношенню до осі деталі, не відхиляється і забезпечує стійке ведення процесу напилення, то необхідно прибрати допоміжну пластину і почати напилення виробу.



1 – плазмотрон; 2 – подача порошкового дроту; 3 -виріб

Рисунок 5.7 – Плазмове напилення бандажу

Таблиця 5.4 – Параметри режиму плазмового напилення

Параметр	Значення
Напилюваний матеріал	порошковий дріт ПП-100Х15Н2Г2Р
Сила струму I, А	200...210
Напруга U, В	70...80
Витрати робочого газу Q_{Ag} , м ³ /год	1,2 (Ag)
Витрати охолоджуючого плазмотрон газу $Q_{повітря}$, м ³ /год	1,5 (повітря)
Діаметр дроту $d_{дроту}$, мм	1,6
Швидкість подачі дроту $V_{пд}$, м/год	350
Дистанція напилення $L_{нап}$, мм	100...110
Швидкість напилення $V_{напил}$, м/хв	0,2
Швидкість обертання виробу $V_{об}$, м/хв	10...15
Кут від осі плазмотрону до напилюваної поверхні, град °	70...90

Оператор за допомогою гашетки на супорті токарно-гвинторізного верстату переміщує плазмовий струмінь відносно осі деталі в необхідне положення зі швидкістю $V_{нап} = 0,2$ м/хв, що дозволяє напилювати за 1 прохід шар завтовшки $\delta = 0,1$ мм.

Таблиця 5.5 – Час потрібний на напилення виробу

Напилюваний шар покриття, мм	Товщина шару δ , напилюванно -го за 1 прохід, мм	Час T_1 , затрачуваємий на 1 прохід плазмотрону, сек	Необхідна кількість проходів N	Загальний час напилення 1 бандажу $T_{обш}$, мін
4,5	0,1	19	45	14

Перед напиленням необхідно прогартувати порошковий дріт ПП-100Х15Н2Г2Р при температурі 200 °С впродовж 2-2,5 годин.

Перед напиленням дріт має бути ретельно очищений від забруднень і іржі (якщо вони є) механічним, або хімічним методом і знежирени уайт-спиртом або ацетоном.

5.5 Контроль якості напилюваного виробу і методи усунення дефектів

Можливими дефектами плазмового способу нанесення покриттів є відшаровування напилюваного шару, розтріскування покриття, поява на поверхні крапель міді, а також різнотовщинність покриття (вище за допустиму). Причини утворення цих дефектів і способи їх усунення приведені в табл. 5.6.

У процесі контролю якості напилювання бандажу волоочильного стану контролер здійснює візуальний огляд напилюваної поверхні бандажу на наявність відшаровування напилюваного шару, розтріскування покриття, появи на поверхні покриття крапель міді.

Різнотовщинність визначають використовуючи вимірювальний інструмент - мікрометр, також в процесі контролю необхідно виміряти твердість за шкалою Роквелу HRC, використовуючи універсальний ручний твердомір моделі Т-УДЗ. Твердість повинна знаходитися на рівні 54-57 HRC.

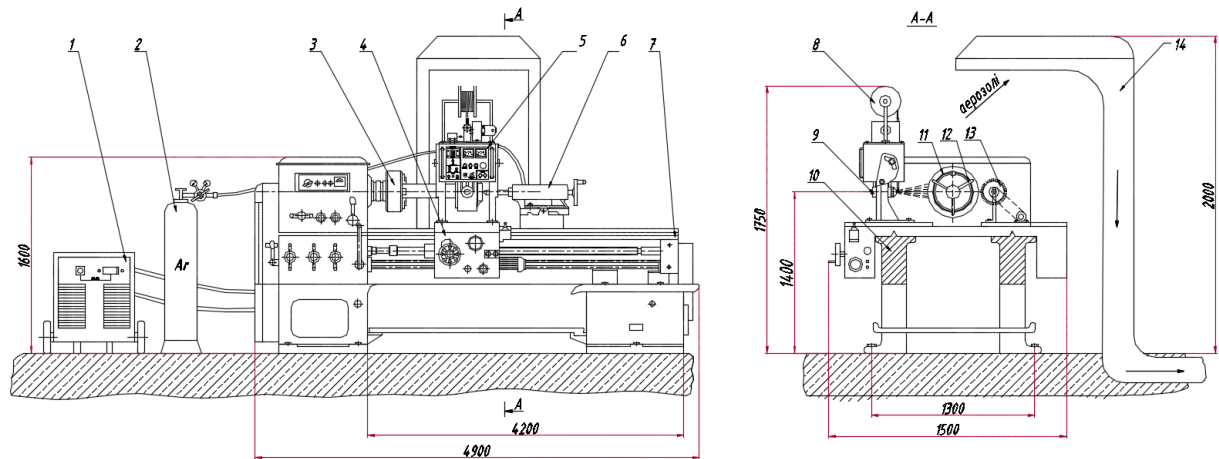
Таблиця 5.6 – Можливі дефекти плазмового способу нанесення покриттів та методи їх усунення

Дефект	Причини	Способи усунення
Відшаровування напилюваного шару	Неправильно підготовлена конфігурація напилюваної ділянки, незадовільна якість підготовки поверхні (наявність жирових плям, мала шорсткість, наявність вологи або олії в стислому повітрі і т.п.)	Видалити дефектне покриття, підготувати конфігурацію напилюваної ділянки відповідно до вимог. Видалити дефектне покриття, ввести операцію напилювання підшару.
Розтріскування покриття	Високі внутрішні напруження в покритті	Брак неусувний. Посилити охолодження підкладки при напилюванні, за можливістю збільшити дистанцію напилювання, понизити електричну потужність, збільшити швидкість переміщення плазмотрону (чи виробу), зменшити товщину покриття, що наноситься за один прохід.
Поява на поверхні покриття крапель міді	Підвищена ерозія сопла у результаті його зношування або погіршення повітряного охолодження	Брак неусувний. Перевірити центрування електроду і витрату охолоджувального повітря, у разі його падіння усунути причину.
Різновтовщинність покриття (вище за допустиму)	Нерівномірне переміщення плазмового струменя відносно поверхні напилювання	Брак неусувний. Відрегулювати роботу системи переміщення плазмотрону і виробу.

5.6 Обладнання для здійснення процесу плазмового напилення

Напилення бандажів здійснюється на спеціалізованій установці «Орнитоф»-5М (УПНО-5М) підприємства «Плазматех» виготовленій згідно з ТУ 29.4-19267697-007:2007, змонтованій на базі токарно-гвинторізного верстата з плавним регулюванням швидкості обертання виробу і залежним переміщенням плазмотрона відносно твірної виробу (рис. 5.8).

Установка повинна забезпечувати обертання виробу зі швидкістю 0,1-6 об/мін і переміщення плазмотрона уздовж осі виробу зі швидкістю 0,2-5 м/хв. Швидкість обертання виробу і переміщення плазмотрона мають бути механічно взаємозв'язані.



1 – джерело живлення; 2 – балон з плазмоутворюючим газом; 3 – патрон; 4 - супорт переміщення плазмотрону; 5 – панель керування плазмотроном; 6 – задня бабка верстата; 7 – напрямна переміщення супорта; 8 – котушка з порошковим дротом; 9 – плазмотрон; 10 – станина; 11 – бандаж; 12 – оснастка для напилення бандажу; 13 – металеві щітки; 14 – шафа витяжної вентиляції

Рисунок 5.8 – Схема установки для напилення бандажів

Пристосування 12 встановлюється в патроні 3 токарно-гвинторізного верстату, потім встановлюється деталь 11 і притискається за допомогою висувної пінолі задньої бабки 6. Потім виставляють дистанцію напилення і кут нахилу плазмотрону 9 на супорті 4 верстату. Підводять металеві щітки 13 для видалення слабо зчеплених з основою або з попереднім шаром частинок. На панелі управління плазмотроном 5 виставляють необхідні режими напилення, відкривають подачу плазмоутворюючого газу 2. Потім включають витяжну вентиляцію 14 і здійснюють пробне напилення.

Для подачі порошкового дроту 8 на зріз плазмотрону використовується механізм подачі зварювального напівавтомата А-765. В якості джерела живлення 1 чергової і плазмової дуги використовують модернізований

зварювальний випрямляч типу ВДУ-506УЗ що дозволяє за рахунок виконання оптронного переходу на електричній схемі випрямляча підвищити напругу холостого ходу U_{xx} з 80 до 150 В, і тим самим забезпечити запалення чергової дуги.

Установка має бути розташована в спеціальному сухому закритому приміщенні з плюсовою температурою при повній відсутності протягів і при досить хорошій освітленості.

Генератором плазмового струменя є електродуговий плазмотрон (рис. 5.9) підприємства «Плазматех» м.Запоріжжя [44], який забезпечує надійне фокусування плазмової струмینی і, як наслідок, підвищення коефіцієнта використання матеріалу, який напильють, зменшення зносу внутрішнього та зовнішнього сопел і підвищення ступеня використання енергії плазмової струмینی.

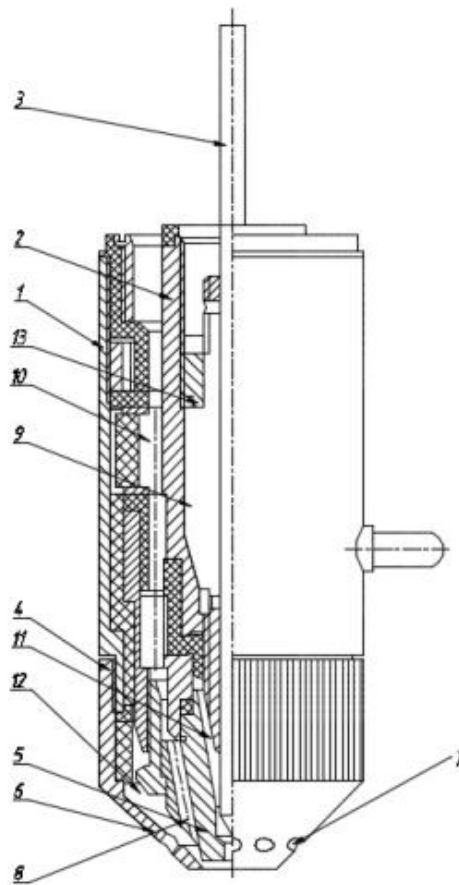


Рисунок 5.9 – Електродуговий плазмотрон

Електродуговий плазмотрон складається з корпусу 1, у якому співвісно установлені електродотримач 2, стержньовий катод 3, закріплений у

електродотримачі 2 з можливістю переміщення вздовж вертикальної осі плазмотрона, зовнішнє сопло 4 для підведення захисного газу та внутрішнє сопло 5 для утворення плазми. Нижня частина 6 зовнішнього сопла 4 виконана конічною і споряджена отворами 7. Внутрішнє сопло 5 споряджене каналами 8, виконаними під кутом $8-14^\circ$ до вертикальної осі плазмотрона.

Отвори 7 виконані на відстані від нижнього торця зовнішнього сопла 4, яка дорівнює $0,2-0,3$ від довжини твірної конічної частини 6. Електродотримач має порожнину 9 для подавання плазмоутворюючого газу. Між електродотримачем 2 та корпусом 1 є порожнина 10 для подавання захисного газу. Стержньовий катод 3 та внутрішнє сопло 5 утворюють зазор 11 для проходження плазмотвірного газу. Внутрішнє сопло 5 та зовнішнє сопло 4 утворюють зазор 12 для проходження захисного газу. Для забезпечення переміщення стержньового катода 3 електродотримач 2 споряджений затискною цангою 13.

Електродуговий плазмотрон працює таким чином:

У порожнину 10 подають захисний газ, а у порожнину 9 – плазмоутворюючий газ. Далі за допомогою високовольтного розряду підпалюють чергову дугу між стержньовим катодом 3 та внутрішнім соплом 5. Відомими заходами виводять плазмотрон на заданий режим по потужності, яка характеризується струмом I та напругою U , витратами плазмоутворюючого $Q_{\text{пл}}$ та захисного $Q_{\text{зах}}$ газів, після чого між плазмотроном та виробом перпендикулярно до вертикальної осі плазмотрона в область дуги подають дріт, який знаходить під потенціалом. При цьому виникає постійна електрична дуга між стержньовим катодом 3 і дротом (на кресленні не показаний), а чергова дуга гасне.

Плазмоутворюючий газ проходить через порожнину 9, охолоджує при цьому стержньовий катод 3, і на виході із внутрішнього сопла 5 перетворюється у плазму, під дією якої дріт розплавлюється і наноситься у вигляді дрібних розплавлених частинок на виріб, на якому утворює покриття. Захисний газ при проходженні через порожнину 10 охолоджує

електродотримач 2, внутрішнє сопло 5 та зовнішнє сопло 4. Після вирівнювання потоку захисного газу у каналах 8 він рівномірно обтискує плазмову струмину і фокусує її вздовж вертикальної осі плазмотрона.

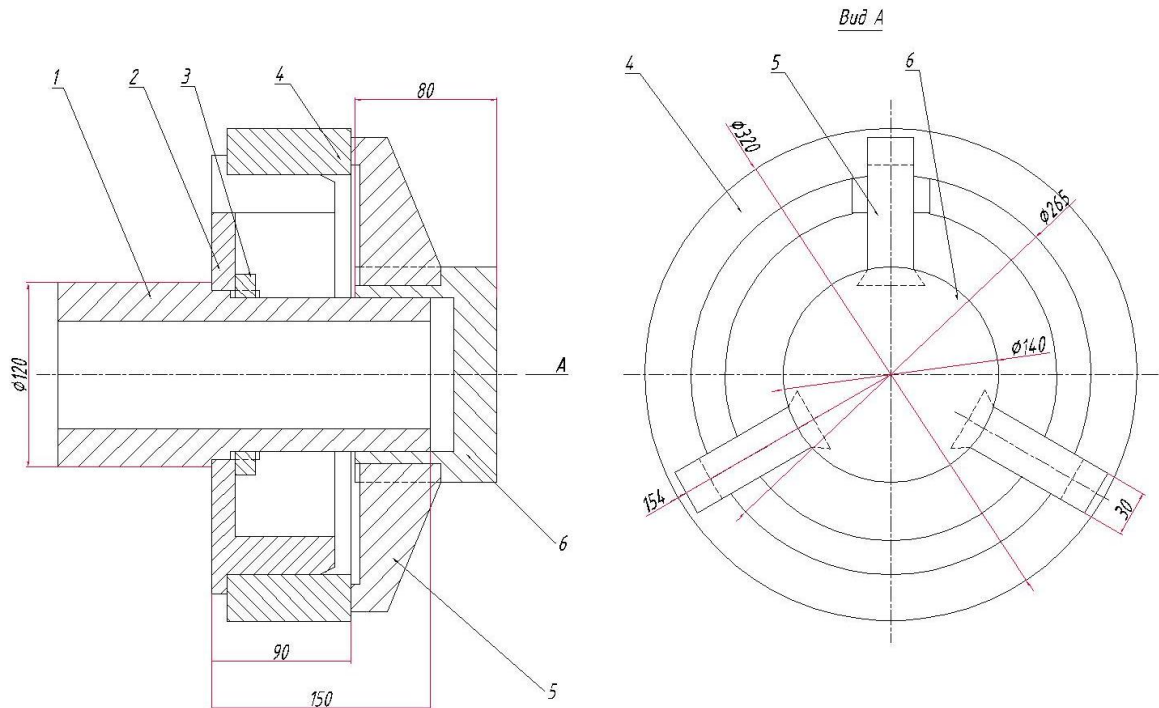
Надлишок захисного газу який подається під підвищеним тиском, відводиться через отвори 7, виконані у зовнішньому соплі 4, одночасно він відтискає гарячі потоки газу від зовнішнього сопла 4 і захищає його від бризок розплавленого металу. При зносі стержньового катода 3 або при необхідності змінення режимів роботи плазмотрона стержньовий катод 3 переміщують відносно сопла 5 за допомогою затискної цанги 13.

Виконання каналів 8 у внутрішньому соплі 5 під кутом 8-14° та виконання отворів на відстані від нижнього торця зовнішнього сопла 4, яка дорівнює 0,2-0,3 довжини твірної його конічної частини 6, у сукупності з відомими ознаками дозволяє забезпечити надійне фокусування плазмової струмини, стабільне горіння дуги. Це дає можливість підвищити коефіцієнт використання матеріалу, який напилюють, зменшити знос внутрішнього та зовнішнього сопел, підвищити ступінь використання енергії плазмової струмини. Покриття, яке напилюється електродуговим плазмотроном цієї конструкції, відрізняється високою якістю та стабільними фізико-механічними характеристиками.

5.7 Проектування оснащення для плазмового напилення бандажів

На волочильних станах різної конструкції можуть використовуватися бандажі тягнучих роликів, які мають різні габаритні розміри ($\varnothing$ змінюється від 150 до 350 мм), що змушує використовувати різне оснащення, а також мати значні виробничі потужності для його виготовлення і місце для розміщення.

Тому нами було запропонована конструкція пристосування для плазмового наплення різних діаметрів бандажів волочильних станів (рис. 5.10), яка дозволяє значно спростити процес за рахунок виготовлення лише окремих елементів пристосування (40 % від витрат часу і матеріалів на виготовлення стандартного оснащення).



1 – вал; 2 – основа; 3 – притискна шайба; 4 – бандаж; 5 – притискний елемент; 6 – стакан

Рисунок 5.10 – Конструкція пристосування для наплення бандажів

Вал змінного діаметру 1 встановлюється в патроні токарного верстата 8 (рис. 5.14). Потім до стикування з технологічним упором встановлюється знімна основа 2, яка притискається до нього шайбою з різьбленням 3 (рис. 5.11).

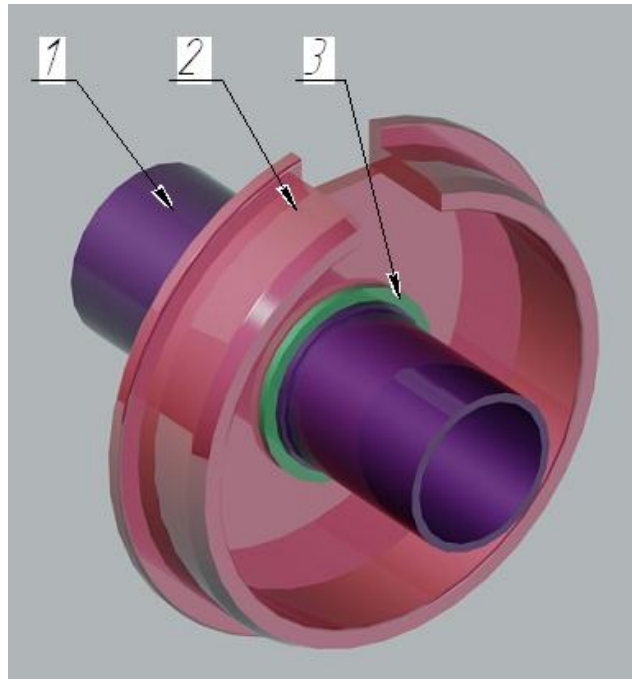


Рисунок 5.11 – Схема установлення основи на валу

Після цього на зовнішній діаметр основи 2 встановлюється бандаж 4, який повинен упертися в уступ основи (рис. 5.12).

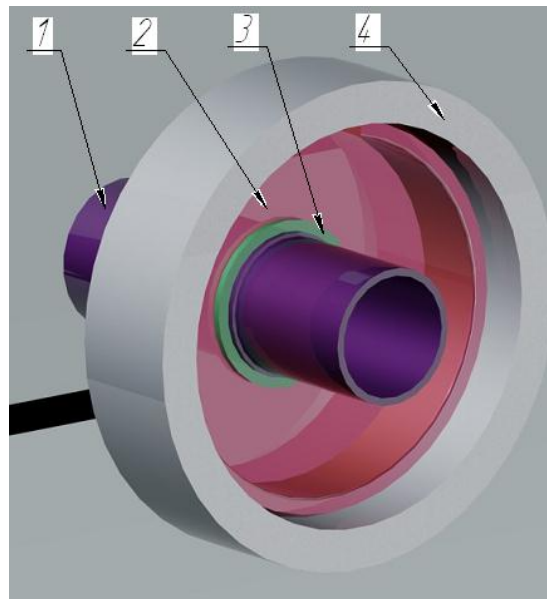


Рисунок 5.12 – Схема установки бандажу на основі

Відсутність переміщення бандажа 4 в процесі напилення при обертанні патрона токарного верстата 8 (рис. 5.14) забезпечується надійним притисканням бандажа до технологічного упору. Цю функцію виконує знімний стакан 6 з виконаними в ньому отворами під установку притискних елементів 5 (рис. 5.13).

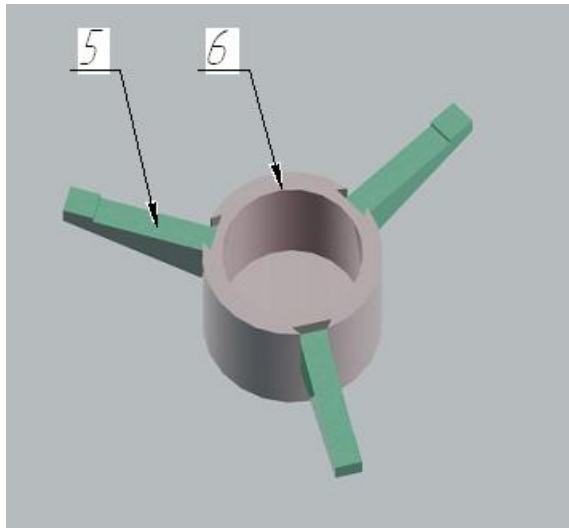


Рисунок 5.13 – Загальний вид притискного стакану

Фіксація стакану 6 на валу 1 і надійний затиск бандажа 4 здійснюється за рахунок підведення і притискання його задньою бабкою токарного верстата 7 (рис. 5.14).

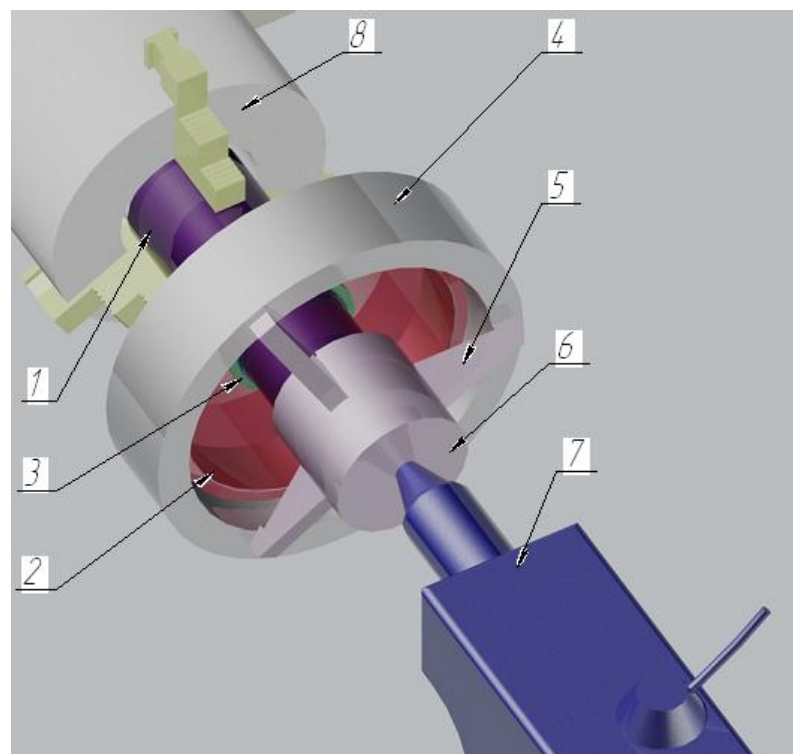


Рисунок 5.14 – Загальний вид установки пристосування

Це пристосування дозволяє легко підлаштовуватися під зміну габаритних розмірів бандажів за рахунок використання знімної основи і притискних елементів.

5.8 Висновок

Таким чином, при розробці технології відновлення робочої поверхні бандажів волочильного стану були досліджені умови експлуатації виробу, був підібран матеріал який дозволяє істотно підвищити ресурс роботи виробу, аналіз літературних джерел виявив недоліки існуючих технологій відновлення.

Була розроблена технологія відновлення і зміцнення робочої поверхні бандажу, яка дозволяє отримати технологічне покриття у поєднанні з високою зносостійкістю, і тим самим збільшити довговічність виробу. Згідно з обраною технологією відновлення було підібране технічне обладнання.

6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ ДІЛЬНИЦІ ПЛАЗМОВОГО НАПИЛЕННЯ

Термічне напилення нині є високотехнологічною галуззю світової економіки з річним обігом близько 5 млрд. доларів. Застосування цих методів активно розвивається в авіації, машинобудуванні, енергетиці, будівництві, нафтопереробленні, металургії, електроніці. У розвинених країнах (США, Німеччина, Франція, Японія) темп зростання складає 5-7 %, в Індії 15-17 %, в Китаї - 20 % [45].

На відміну від багатьох відомих технологічних процесів, термічне напилення з'явилося порівняно недавно. До 1950 р. йому не приділяли особливої уваги, поки не з'явилися способи плазмового і детонаційного напилення, що зумовило їх застосування у авіакосмічній галузі промисловості.

Нині до найбільшзастосовуваних способів відносять такі: газополуменеве напилення, електродугова металізація, та плазмове напилення, які становлять левову частку ринку термічного напилення, у зв'язку з низькими витратами (вартістю устаткування) і незначними технологічними витратами.



Рисунок 6.1 - Структура обороту ринку термічного напилення у ЄС

Аналізуючи економічні дослідження сфери використання технології термічного наплення, проведені незалежними експертами, можна зробити висновок про те, що сумарний оборот цього ринку складає близько 7,1 млрд євро, причому країни ЄС займають друге місце з оборотом 2,066 млрд євро, а сумарний оборот другого сегменту світового ринку (США і Канада) складає 2,66 млрд євро [46].

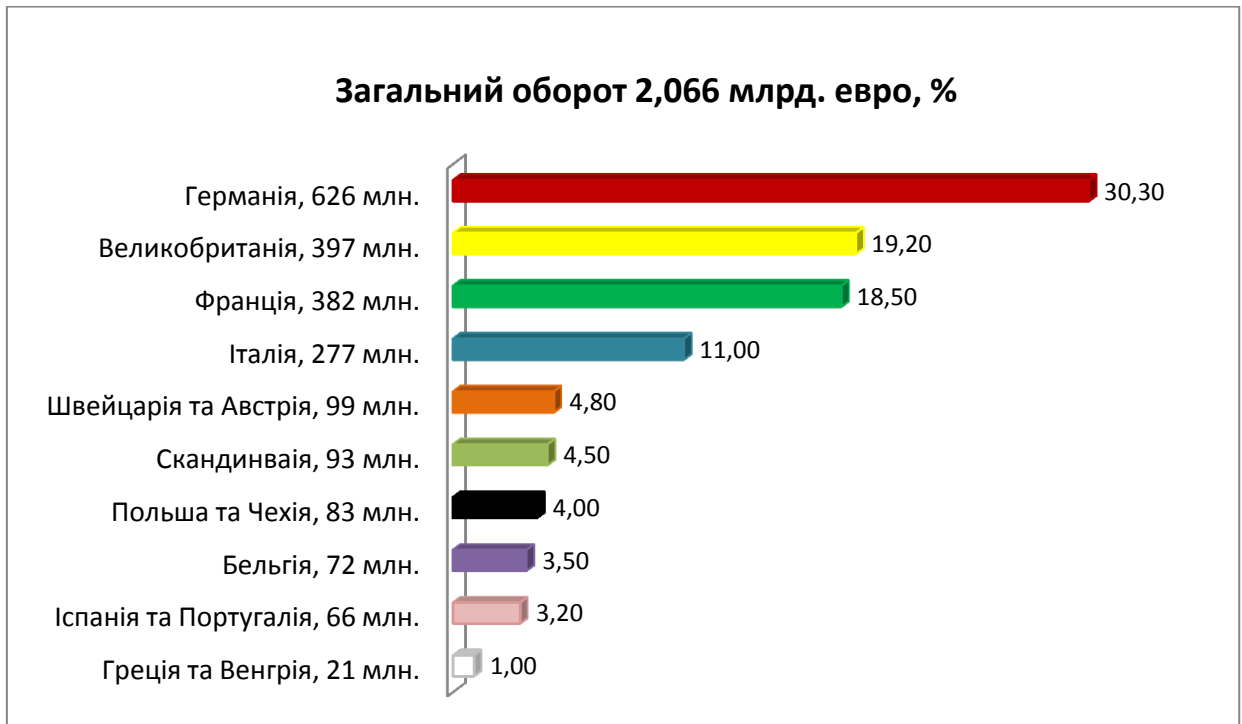


Рисунок 6.2 – Структура світового ринку термічного наплення за 2013 р.

Проте якщо товари ринку термічного наплення в Північній Америці мають попит в основному в аерокосмічній промисловості, то в країнах ЄС в цій продукції більш зацікавлених, без явного домінування якого-небудь окремого сектора промисловості. Дослідження виявляють наступну цікаву особливість: в розвинених країнах, наприклад, в США, Німеччині або Японії, максимальний оборот ринку термічного наплення в перерахунку на душу населення складає від 5 до 6 євро. У країнах ЄС щорічний попит на термічні покриття досягає 77 % загального обороту, причому потреба в матеріалах складає 19 %, з яких витрати на балонні гази - 3...4 %, а річні інвестиції на розробку нових технологій і устаткування не перевищують 4 %.

Нині Німеччина займає на європейському ринку перше місце з долею обороту 30 %, за нею прямує Великобританія 19 % і Франція 18,5 %. При цьому треба враховувати відмінність ринку конкретного технологічного напрямку від сумарного обороту ринку окремої країни.

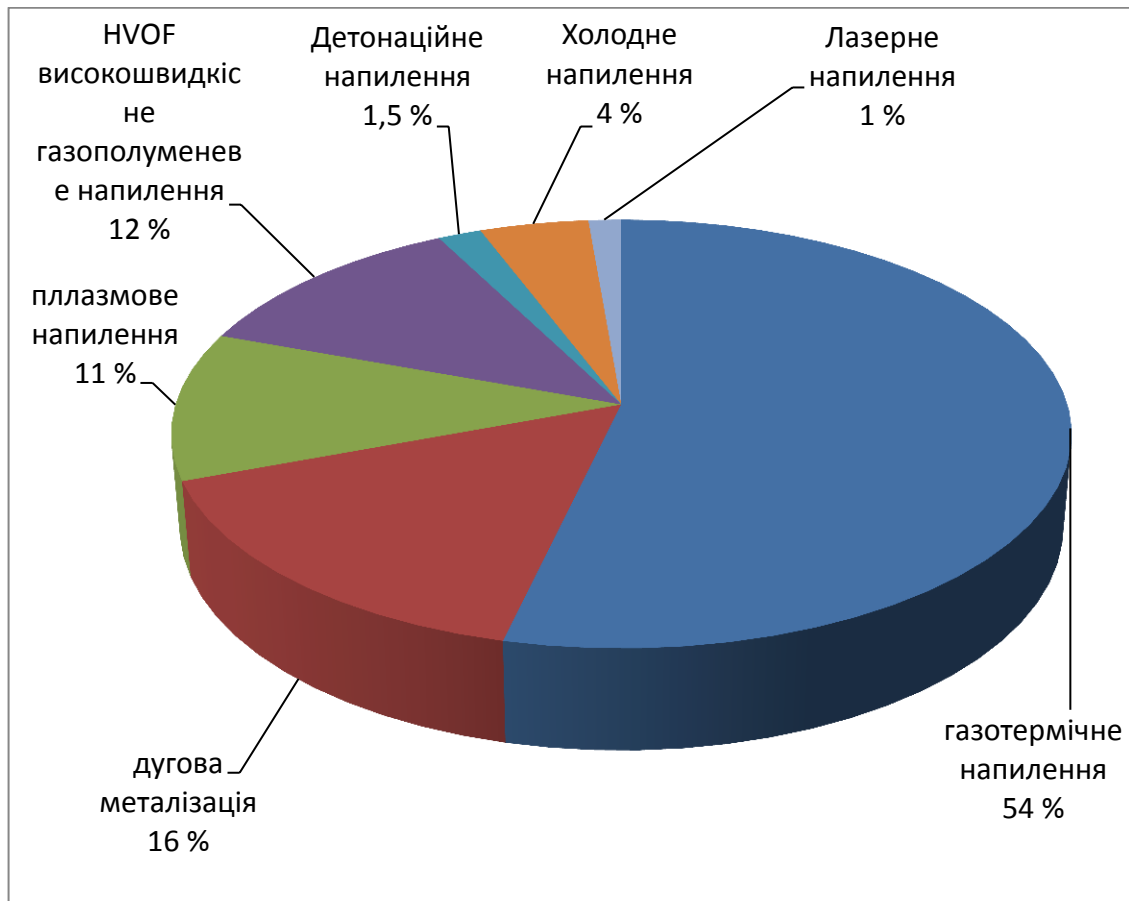


Рисунок 6.3 – Структура ринку технології напilenня за 2013 р.

На внутрішньому ринку мають попит більше універсальні технології, причому основними споживачами є аерокосмічна і автомобільна галузі промисловості. У Німеччині ця доля складає 30 % європейського ринку, сумарно 626 млрд євро, розподілених між 690 різними компаніями або 10 тис. користувачів устаткування для термічного напilenня. Проте основна доля доводиться на компанії з середнім оборотом, 245 підприємств використовують цей тип устаткування для виготовлення власної продукції, а 445 - безпосередньо зайняті виконанням замовлень на термічне напilenня.

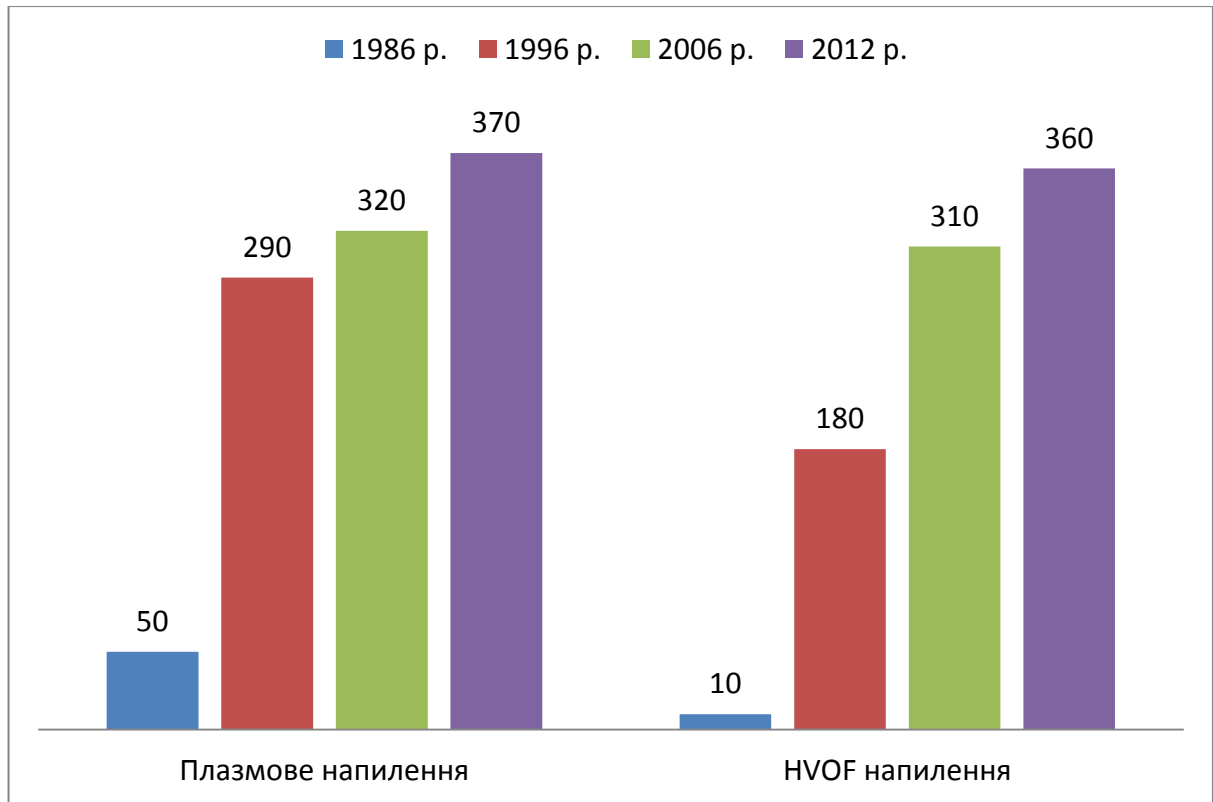


Рисунок 6.4 - Динаміка ринку продажів поверхневих технологій напилення (плазмового, HVOF) з 1986 по 2012 р. (у одиницях проданого устаткування)

Визначальними технологіями термічного напилення є: плазмове напилення (370 од. устаткування), високошвидкісне газокисневе напилення (360 од.) і холодне напилення (42 од.).

Викликає інтерес ще один аспект проведеного аналізу, а саме те, що за останні 20 років значно збільшився обсяг попиту на плазмові та HVOF системи напилення. Наприклад, починаючи з 1986 р. знижувався випуск устаткування для газополуменевого напилення, найімовірніше, із-за пересичення ринку цим товаром, що пояснюється вдосконаленням устаткування, розробкою нових соплових насадок і використанням інших газів для розпилення замість повітря. Випуск устаткування для плазмового напилення і HVOF характеризується найбільшим темпом зростанням (обидва способи по 300 од). З 2002 р. розпочалися продажі устаткування для холодного напилення як для дослідницьких цілей, так і для використання в технологічних процесах (вже 45 од.).

Нині можна говорити про те, що процеси термічного напилення застосовують майже всюди, включаючи автомобільну, машинобудівну, авіакосмічну промисловість, а також при виготовленні медичної апаратури.

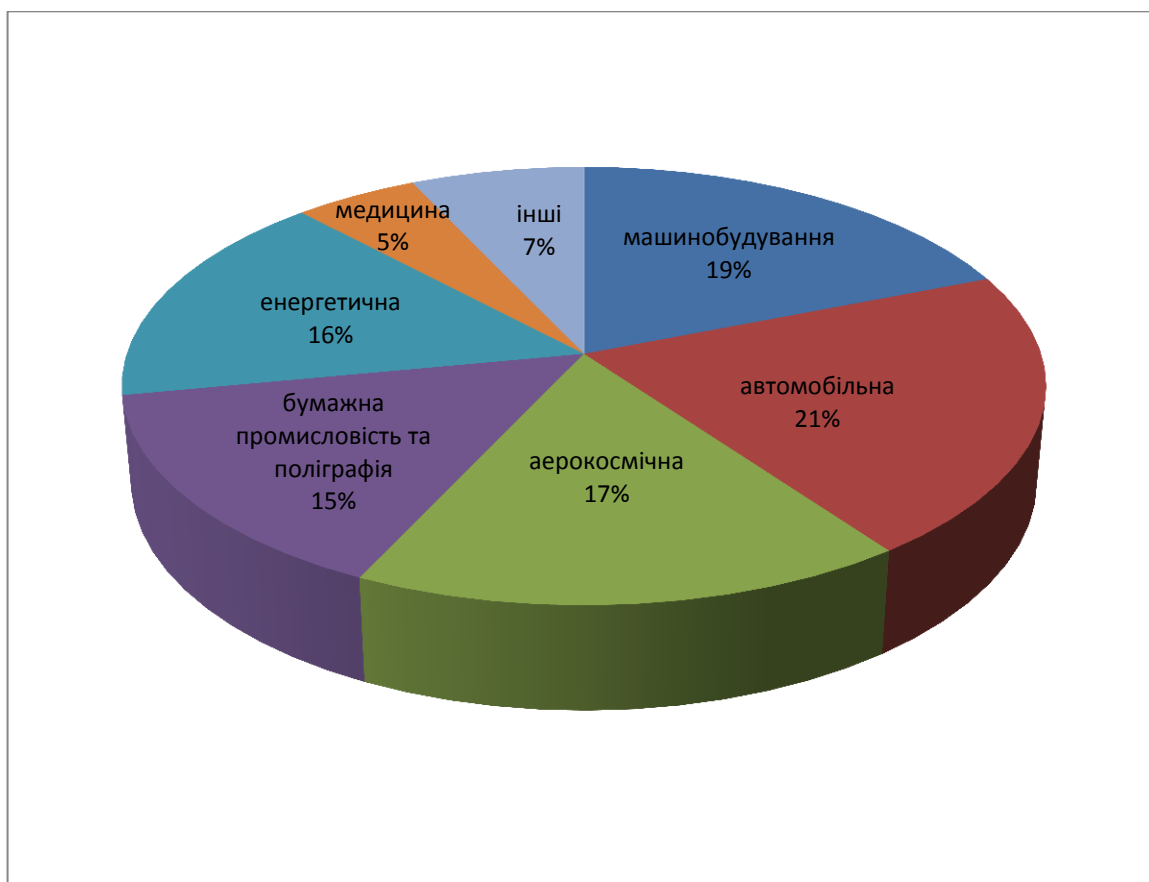


Рисунок 6.5 – Структура ринку термічного напилення за основними галузями-споживачами

Аналізуючи проведені економічні дослідження, можна констатувати, що доки задіяне не більше 50 % потенціалу технології термічного напилення, але в майбутньому (особливо із за постійного зростання цін на метали) збільшиться попит на технології нанесення покриттів, що сприятиме постійному розширенню їх використання в різних областях промисловості.

Подальший розвиток нових технологій дозволяє прогнозувати збільшення зростання сумарного обороту світового ринку термічного напилення в 2017 р. до рівня 12 млрд євро.

6.1 Організація ділянки плазмового напилення струмоведучим дротом бандажів волочильних станів

У даному розділі дипломного проекту необхідно надати технічне нормування операцій, виробничу програму і її матеріальне забезпечення. Розрахувати ефективний (дійсний) фонд часу роботи обладнання, необхідну кількість обладнання та чисельність персоналу ділянки.

6.1.1 Технічне нормування операцій

Нормування операції дробоструминної обробки здійснюється згідно наступного співвідношення:

$$T_{\text{др.об}} = t_{\text{осн}} + t_1 \cdot k = 1 + 7 \cdot 1,13 = 9 \text{ хв} = 0,15 \text{ год.}, \quad (6.1)$$

де $t_{\text{осн}}$ – основний машинний час операції дробоструминної обробки;

t_1 – час, потрібний на встановлення, закріплення та зняття бандажу з установки;

k – коефіцієнт, який враховує витрати часу на природні потреби робітника, відпочинок та обслуговування робочого місця

Емпірична формула для визначення основного машинного часу виводиться з технологічного процесу відновлення бандажів:

$$t_{\text{осн}} = \frac{\delta_{\text{банд}}}{d_{\text{сопла}}} \cdot 8 = \frac{80}{10} \cdot 8 = 64 \text{ с} = 1 \text{ хв} = 0,017 \text{ год.}, \quad (6.2)$$

де $\delta_{\text{банд}}$ – ширина бандажу мм;

$d_{\text{сопла}}$ – діаметр сопла установки дробоструминної обробки, мм

$$t_1 = 7 \text{ хв};$$

$$k = 1,13$$

Нормування операції плазмового напилення бандажів здійснюється згідно наступного співвідношення:

$$T_{\text{напил}} = t_{\text{осн}} + t_1 \cdot k = 17 + 4,5 \cdot 1,13 = 22 \text{ хв} = 0,366 \text{ год.}, \quad (6.3)$$

де $t_{\text{осн}}$ – основний машинний час операції плазмового напилення;

t_1 – час, потрібний на встановлення, закріплення та зняття бандажу з установки;

k – коефіцієнт, який враховує витрати часу на природні потреби робітника, відпочинок та обслуговування робочого місця

Для визначення машинного часу, необхідного на виконання операції плазмового напилення 1 бандажу, потрібно розрахувати масу покриття $m_{\text{покр}}$ (кг) та продуктивність процесу (кг/год).

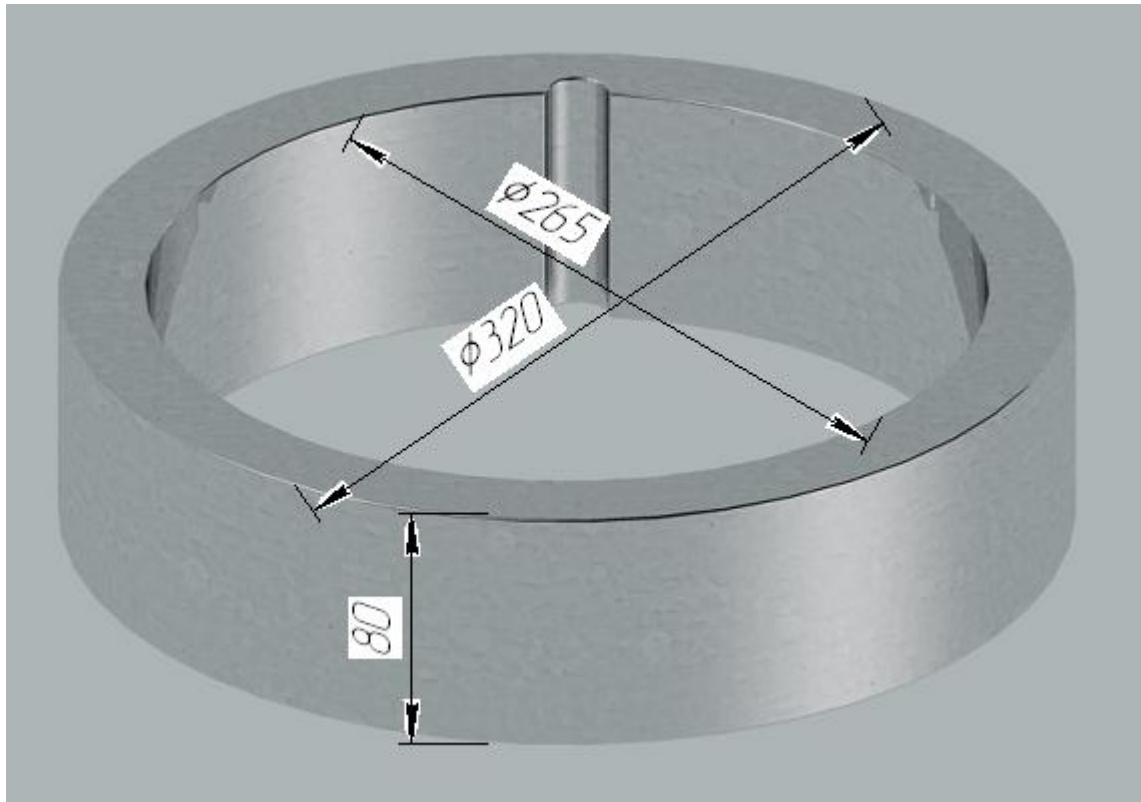


Рисунок 6.6 – Геометричні розміри бандажа

Визначаємо масу покриття $m_{\text{покр}}$:

$$\varnothing_{\text{зовн}} = 320 \text{ мм} = 0,320 \text{ м};$$

$$\varnothing_{\text{внут}} = 265 \text{ мм} = 0,265 \text{ м};$$

$$r_{\text{зовн}} = 160 \text{ мм} = 0,160 \text{ м};$$

$$r_{\text{внут}} = 132,5 \text{ мм} = 0,1325 \text{ м};$$

$$h_{\text{банд}} = 80 \text{ мм} = 0,08 \text{ м};$$

$$\rho_{\text{метал}} = 7850 \text{ кг/м}^3;$$

$$S_{\text{зовн}} = \pi r^2 = 3,1416 \cdot 0,16^2 = 0,0804 \text{ м}^2;$$

$$S_{\text{внут}} = \pi r^2 = 3,1416 \cdot 0,1325^2 = 0,0551 \text{ м}^2;$$

$$V_{\text{зовн}} = S_{\text{зовн}} \cdot h_{\text{банд}} = 0,0804 \cdot 0,08 = 0,006432 \text{ м}^3;$$

$$V_{\text{внут}} = S_{\text{внут}} \cdot h_{\text{банд}} = 0,0551 \cdot 0,08 = 0,004408 \text{ м}^3;$$

$$V_{\text{банд}} = V_{\text{зовн}} - V_{\text{внут}} = 0,002024 \text{ м}^3;$$

$$m_{\text{банд}} = V_{\text{банд}} \cdot \rho_{\text{метал}} = 0,002024 \cdot 7850 = 15,9 \text{ кг}$$

Знаючи товщину бандажу, яка дорівнює 55 мм та товщину напилюванного покриття 4,5 мм складаємо рівняння пропорції:

$$\frac{\delta_{\text{бандж}}}{\delta_{\text{покр}}} = \frac{m_{\text{банд}}}{m_{\text{покр}}}, \quad (6.4)$$

де $\delta_{\text{банд}}$ – товщина бандажу;

$\delta_{\text{покр}}$ – товщина покриття;

$m_{\text{банд}}$ – маса бандажу;

$m_{\text{покр}}$ – маса покриття

Визначаємо масу покриття x :

$$\frac{55}{4,5} = \frac{15,9}{x}$$

$$x = 1,3 \text{ кг} - \text{маса покриття } m_{\text{покр}}$$

Визначаємо продуктивність процесу плазмового напилення G_n :

$$d_{\text{дроту}} = 1,6 \text{ мм} = 0,0016 \text{ м};$$

$$V_{\text{пд}} = 350 \text{ м/ч};$$

$$\rho_{\text{метал}} = 7850 \text{ кг/м}^3;$$

$$\psi = 0,85$$

$$S_{\text{дроту}} = \pi r^2 = 3,1416 \cdot 0,0008^2 = 0,00000201 \text{ м}^2;$$

$$V_{\text{дроту}} = S_{\text{дроту}} \cdot h_{\text{дроту}} (V_{\text{пд}}) = 0,00000201 \cdot 350 = 0,000704 \text{ м}^3;$$

$$m_{\text{дроту (распл)}} = V_{\text{дроту}} \cdot \rho_{\text{метал}} = 0,000704 \cdot 7850 = 5,524 \text{ кг};$$

$$m_{\text{дроту (напил)}} = m_{\text{дроту (распл)}} \cdot \psi = 5,524 \cdot 0,85 = 4,695 \text{ кг}$$

$$m_{\text{дроту (напил)}} = G_n \text{ за 1 год} = 4,695/\text{год}$$

Визначаємо машинний час $t_{\text{осн}}$ на напилення 1 бандажу.

Знаючи продуктивність процесу $G_{\text{нап}}$ за 1 годину (60 хв) та масу напилю ванного покриття $m_{\text{покр}}$ складаємо рівняння пропорції:

$$\frac{G_{\text{нап}}}{m_{\text{покр}}} = \frac{1 \text{ год} = 60 \text{ хв}}{x}$$

де $G_{\text{нап}}$ – продуктивність процесу напилення за 1 годину (60 хв);

$m_{\text{покр}}$ – маса покриття;

x – машинний час на напилення 1 бандажу

Визначаємо машинний час x на напилення 1 бандажу:

$$\frac{4,695}{1,300} = \frac{60}{x}$$

$x = 17 \text{ хв}$ – машинний час на напилення 1 бандажу;

$$t_{\text{осн}} = 17 \text{ хв};$$

$$t_1 = 4,5 \text{ хв};$$

$$k = 1,13$$

Визначаємо норму часу на підготовчо-заклучні операції:

$$t_{\text{п.з.}} = (t_{\text{отр}} + t_{\text{озн}} + t_{\text{одерж}} + t_{\text{нал}} + t_{\text{зд}}) \cdot k = 23 \text{ хв} = 0,380 \text{ год.}, \quad (6.5)$$

До підготовчо-заклучного часу відносяться витрати робочого часу на виконання наступних операцій:

а) отримання виробничого завдання, наряду, технічної документації, вказівок та інструктажу, $t_{\text{отр}} = 3 \text{ хв}$;

б) ознайомлення з отриманим завданням, технологічної документацією та кресленням, $t_{\text{озн}} = 5 \text{ хв}$;

в) одержання інструментів і пристосувань, $t_{\text{одерж}} = 4 \text{ хв}$;

г) налагодження устаткування на заданий режим роботи, $t_{\text{нал}} = 5 \text{ хв}$;

д) здачу виконаної роботи, пристосувань, інструментів, технічної документації і вбирання робочого місця, $t_{\text{зд}} = 6 \text{ хв}$.

Норми часу на технологічний процес відновлення бандажів плазмовим напиленням представлені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Технічне нормування операцій

№	Найменування операції	Норма штучного часу, н/год
1	Дробоструминна обробка	0,151
2	Напилення	0,366
3	Підготовчо-завершальний час	0,380
4	Норма часу на одиницю виробу	0,527

6.1.2 Виробнича програма та її матеріальне забезпечення

У даному дипломному проєкті приймаємо виробничу програму процесу відновлення бандажів плазмовим напиленням рівною 7500 деталей. (див. табл. 6.2)

Таблиця 6.2 – Виробнича програма на рік

Найменування виробу	Норма часу на 1 деталь, н/год	Виробнича програма	
		деталей	н/год
Бандаж тягнучого ролика волоочильного стану ВСК-13	0,527	7500	3950

6.1.3 Розрахунок кількості обладнання та площі ділянки

Підприємство на якому розташована діляниця відновлення бандажів працює по двозмінному графіку роботи при п'ятиденному робочому тижні – 40 годин. Тривалість робочої зміни – 8 годин.

Номінальний фонд часу роботи обладнання для двозмінного режиму роботи прийнятий 4160 годин. Дійсний фонд часу роботи обладнання за рік визначається за формулою:

$$F_{\text{до}} = F_{\text{ном}} \cdot (1 - K_{\text{в}}) = 4160 \cdot (1 - 0,1) = 3745 \text{ год.}, \quad (6.6)$$

де $F_{\text{ном}}$ – номінальний фонд часу роботи обладнання;

$K_{\text{в}}$ – коефіцієнт витрат часу на ремонт та обслуговування обладнання

До складу основних фондів ділянки входять обладнання, будівлі, цінний інструмент і пристосування.

Розрахунок необхідної кількості обладнання по кожному типу ведеться за формулою:

$$G_0 = \sum_{i=1}^m \cdot \frac{t_i \cdot N_i}{F_{\text{до}}}, \text{ од.}, \quad (6.7)$$

де G_0 – розрахункова кількість обладнання, од.;

m – кількість видів робіт;

t_i – норма часу на i -тої операції, н/год;

N_i – річна виробнича програма i -того виробу, од.;

$F_{\text{до}}$ – дійсний річний фонд часу роботи обладнання, год.

Прийнята кількість обладнання встановлюється шляхом округлення до цілої величини ($G_{\text{ро}}$).

Коефіцієнт завантаженості обладнання:

$$K_3 = \frac{G_0}{G_{\text{ро}}}, \quad (6.8)$$

де $G_{\text{ро}}$ – прийнята кількість обладнання, од.

Розраховуємо кількість установок для напилення:

$$G_{\text{он}} = \frac{0,366 \cdot 7500}{3745} = 0,74$$

Приймаємо кількість установок $G_{\text{ро}} \approx 1$ од.

Розраховуємо коефіцієнт завантаженості обладнання:

$$K_3 = \frac{0,74}{1} = 0,74$$

Розраховуємо кількість установок дробоструминної обробки:

$$G_{\text{од}} = \frac{0,151 \cdot 7500}{3745} = 0,34$$

Приймаємо кількість установок $G_{\text{ро}} \approx 1$ од.

Розраховуємо коефіцієнт завантаженості обладнання:

$$K_3 = \frac{0,34}{1} = 0,34$$

Всі розрахунки по обладнанню зведені у таблицю 6.3.

Таблиця 6.3 – Розрахунок кількості обладнання, його потужності і собівартості

Найменування устаткування	Кількість обладнання		Коеф. завантаження	Потужність, кВт
	Розрахо- вано	Прий- нято		
Установка плазмового напилення	0,74	1	0,74	47
Установка дробоструминної обробки	0,34	1	0,34	40
Усього	1,08	2	0,54	87

6.1.4 Розрахунок чисельності персоналу ділянки

Чисельність основних виробничих робітників ділянки на нормованих роботах розраховується за операціями, розрядами і професіями:

$$R_0 = \frac{\sum_{i=1}^m t_i \cdot N_i}{F_{\text{д.р.}} \cdot K_{\text{в.н.}}}, \text{чол.}, \quad (6.9)$$

де R_0 – чисельність основних виробничих робітників, чол.;

m – кількість видів робіт;

t_i – норма часу для i -тої операції, н/год;

$F_{\text{д.р.}}$ – дійсний річний фонд часу роботи одного робітника, год;

$K_{\text{в.н.}}$ – коефіцієнт виконання норм виробітку ($K_{\text{в.н.}} = 1,05$).

Дійсний річний фонд часу одного робітника визначається за формулою:

$$F_{\text{д.р.}} = F_{\text{ном}} \cdot (1 - h), \text{год.}, \quad (6.10)$$

де h – планований коефіцієнт не виходів робітників на роботу (0,12÷0,15).

$$F_{\text{д.р.}} = 2080 \cdot (1 - 0,13) = 1810 \text{ год.}$$

Визначаємо кількість операторів установки плазмового напилення:

$$R_0 = \frac{0,366 \cdot 7500}{1810 \cdot 1,05} = 1,45$$

Приймаємо чисельність робітників ≈ 2 особи (по 1 оператору у кожному зміні).

Визначаємо кількість операторів дробоструминної установки:

$$R_0 = \frac{0,166 \cdot 7500}{1810 \cdot 1,05} = 0,655$$

Приймаємо чисельність операторів дробоструминної обробки ≈ 2 особи, згідно з вимогами технічного процесу відновлення бандажів (перерва між дробоструминною обробкою та напиленням бандажів не може

перевищувати 2-3 ч, що не можливо забезпечити у другій зміні при відсутності оператора дробоструминної обробки).

Чисельність допоміжних робітників по професіям розраховується за нормами обслуговування.

Чисельність робітників і спеціалістів дільниці розраховується за штатним розкладом.

Загальна чисельність персоналу ділянки викладена в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Загальна чисельність персоналу

Персонал	Чисельність, чол.	В т.ч. за розрядами			В т.ч. за змінами	
		IV	V	VI	I	II
1. Основні працівники						
- оператор установки плазмового напилення	2	-	1	1	1	1
- оператор установки дробоструминної обробки	2	2	-	-	1	1
Усього	4	2	1	1	2	2
2. Допоміжні працівники						
- контролер	1	-	1	-	1	-
- наладчик (функцію наладчика виконує оператор установки дробостр. обробки	2	-	2	-	1	1
- слюсар ремонтник	1	-	-	1	1	-
- розподільник	1	1	-	-	1	-
Усього	5	1	3	1	4	1
3. Керівники і спеціалісти						
- майстер	1	-	-	-	1	-
- технолог	1	-	-	-	1	-
Усього	2	-	-	-	2	-
Разом	11	3	4	2	8	3

6.2 Планування витрат на виробництво

В даному розділі необхідно запланувати матеріальні витрати на комплектуючі та допоміжні матеріали, розрахувати фонд оплати праці персоналу, скласти калькуляцію собівартості продукції.

6.2.1 Матеріальні витрати

Вартість основних і комплектуючих матеріалів розраховується на основі норм використання і цін. Крім того необхідно врахувати транспортно-заготівельні витрати (5-7% від вартості матеріалів).

До додаткових матеріалів слід віднести ті матеріали, які споживаються для здійснення технологічного процесу відновлення бандажів волоочильного стану плазмовим напиленням.

Таблиця 6.5 – Розрахунок вартості основних матеріалів

Найменування матеріалу, марка, ГОСТ	Норма затрат		Ціна за 1кг (м ³) матеріалу, грн	Вартість програми, грн	З урахуванням транспортних витрат
	На виріб, кг (м ³)	На програму, кг (м ³)			
1. Дріт марки ПП-100X15H2Г2Р	1,300	9750	360	3510000	3685500
2 Газ, Аргон, ГОСТ 10157-79	0,4 м ³	3000 м ³	27,5	82000	86500
Усього	-	-	-	3592000	3772000

Таблиця 6.6 – Розрахунок вартості комплектуючих матеріалів

Найменування	Кількість у виробі, одиниць	Вартість за одиницю, грн	Річна кількість	Річна вартість з урахуванням транспортно- заготівельних витрат, грн.
1. Струмоведучий наконечник	0,05	100	375	39500
2. Змінне сопло	0,009	300	68	21500
Усього	-	-	-	61000

6.2.2 Вартість основних засобів

Вартість основних засобів передбачає наступні розрахунки:

- Вартість будівель визначається на основі розрахованої площі та вартості 1 м² будівель (300-500 грн за м²);
 - Вартість споруд становить 5 % вартості будівель;
 - Вартість обладнання (наведена у табл. 6.7 з урахуванням транспортно-заготівельних витрат і монтажу (10÷15%);
 - Вартість цінних інструментів, пристосувань та інвентарю (3÷5 % балансової вартості обладнання);
 - Вартість транспортних засобів – 3 % балансової вартості обладнання.
- Розрахунок вартості обладнання наведено у табл. 6.7.

Таблиця 6.7 – Розрахунок вартості основного обладнання

Найменування обладнання	Ціна за одиницю, грн	Строк експлуатації, р	Собівартість експлуатації, грн
Установка дробоструминної обробки	250000	15	16000
Установка плазмового напилення	400000	15	26000
Верстат для перемотки та очистки дроту	110000	10	11000
Термошафа	15000	10	1500
Усього	775000	-	52500

Розрахунок вартості основних виробничих фондів, амортизаційних відрахувань, структури основних фондів наведено в табл. 6.8.

Таблиця 6.8 – Вартість основних засобів

Найменування основних засобів	Балансова вартість, грн	Структура, %	Строк експлуатації, р.	Річні амортизаційні відрахування, грн
Будівлі	65000	7,3	40	1625
Споруди	3250	0,4	25	150
Обладнання	775000	86,9	15	52500
Транспортні засоби	23000	2,6	10	2300
Цінні інструменти, прилади, інвентар	25000	2,8	3	8500
Усього	891250	100	-	64075

6.2.3 Фонд оплати праці

Сума заробітної плати, яка виплачується робітникам підприємства, утворює фонд оплати праці. Фонд заробітної плати розраховується за прийнятими формами та системами оплати праці. Оплата праці основних робітників здійснюється за відрядною формою оплати праці; допоміжних робітників - за погодинною формою, керівників і фахівців з окладною формами оплати праці.

Планувальні доплати і премії для робітників приймаються у розмірі 50÷60% від основної заробітної плати. Премії з прибутку складають для робітників - 15% до основної заробітної плати, для керівників і спеціалістів – 40 %.

Основний фонд заробітної плати основних робітників – відрядників розраховуємо за формулою:

$$Z_{\text{відр}} = N \sum_{i=1}^B P_i, \quad (6.11)$$

де B – кількість операцій технологічного процесу;

P_i – розцінка на i -ту операцію, грн;

N – річна виробнича програма виробів, од.

Розцінка на операцію розраховується за формулою:

$$P_i = C_i \cdot t_i, \quad (6.12)$$

де C_i – часова тарифна ставка i -того розряду, грн;

t_i – норма часу на i -ту операцію, н/год.

Розрахунок за операціями приведено у таблиці 6.9.

Таблиця 6.9 – Розрахунок розцінок по операціям

Найменування операції	Норма часу, н/годин	Розряд робіт	Годинна тарифна ставка, грн	Розцінок, грн.
Дробоструминна обробка	0,151	5	31,25	4,75
Плазмове напилення	0,366	6	37,50	14,00
Усього	0,527	-	-	18,75

Розраховуємо основний тарифний фонд заробітної плати основних робітників-відрядників.

$$З_{\text{відр}} = 7500 \cdot 18,75 = 288000 \text{ грн}$$

Основний фонд заробітної плати допоміжних робітників, які перебувають на погодинній оплаті праці, розраховується за формулою:

$$З_{\text{погод}} = C_i \cdot K_{\text{тар.сер.}} \cdot F_{\text{д.р.}} \cdot R_{\text{доп}}, \quad (6.13)$$

де C_i – годинна тарифна ставка 1-го розряду;

$F_{\text{д.р.}}$ – дійсний річний фонд часу робітника, год;

$R_{\text{доп}}$ – чисельність допоміжних робітників;

$K_{\text{тар.сер.}}$ – середній тарифний коефіцієнт.

$$З_{\text{погод}} = 18 \cdot 1,51 \cdot 1810 \cdot 5 = 240000 \text{ грн}$$

Визначаємо середній тарифний коефіцієнт:

$$K_{\text{тар.сер.}} = \frac{\sum_{i=1}^m K_i R_{\text{доп.і}}}{R_{\text{доп}}}, \quad (6.14)$$

де m – кількість розрядів робіт допоміжних робітників;

K_i – тарифний коефіцієнт i -того розряду;

$R_{\text{доп.і}}$ – кількість допоміжних робочих i -го розряду.

$$K_{\text{тар.сер.}} = \frac{1,35 \cdot 1 + 1,5 \cdot 2 + 1,6 \cdot 2}{5} = 1,510$$

Відрахування на соціальне страхування розраховується відповідно до чинного законодавства (22 %).

Фонд оплати праці приведено у табл. 6.10.

Таблиця 6.10 – Фонд оплати праці

Категорії персоналу	Чисельність персоналу, осіб	Основна заробітна плата за місяць, грн	Додаткова заробітна плата за виконання плану (50 % від основної), грн	Річний фонд, грн
Основні робітники	4	6000	3000	432000
Допоміжні робітники	5	4000	2000	360000
Керівники	1	7000	3500	84000
Спеціалісти	1	6000	3000	72000
Усього	11	23000	11500	692000

6.2.4 Собівартість виробу

Собівартість виробу визначається усіма витратами ділянки за такими статтями прямих і непрямих витрат.

До складу прямих витрат входять:

1. Основні матеріали – 3772000 грн;
2. Купівельні комплектуючі вироби і напівфабрикати – 61000 грн;
3. Основна заробітна плата основних робітників – 288000 грн;
4. Додаткова заробітна плата основних робітників – 144000 грн;

5. Відрахування на соціальне страхування від фонду оплати праці основних виробничих робітників – 90700 грн;

6. Енергія на технологічні цілі – 241900 грн.

До складу непрямих витрат входять:

1. Утримання обладнання та робочих місць (вартість силової електроенергії E_s).

$$E_s = C \cdot F_{\text{до}} \cdot W \cdot K_3 \cdot K_s = 2,16 \cdot 3745 \cdot 120 \cdot 0,54 \cdot 0,8 = 271800 \text{ грн, (6.15)}$$

де C – ціна за 1 кВт електроенергії, грн;

$F_{\text{до}}$ – дійсний річний фонд часу роботи обладнання, год;

W – потужність всього устаткування дільниці, кВт/год;

K_3 – коефіцієнт завантаження обладнання;

K_s – коефіцієнт попиту, який враховує витрати електроенергії в мережі

2. Річний фон оплати праці допоміжних робітників – 360000 грн, відрахування на соціальні заходи – 75600 грн.

3. Поточний ремонт обладнання та дорогокоштовних інструментів – 100000 грн.

4. Амортизація дорогокоштовного обладнання та інструментів – 60000 грн.

5. Відтворювання малоцінних та швидкозношуваних предметів – 7500 грн.

6. Інші витрати – 44000 грн.

Таблиця 6.11 – Кошторис витрат на утримання та експлуатацію обладнання

Найменування статей витрат	Сума, грн
1. Утримання обладнання та робочих місць	271800
2. Заробітна плата додаткових робочих і відрахування на соціальні заходи	435600
3. Поточний ремонт обладнання і дорогокоштовних інструментів	100000
4. Амортизація виробничого обладнання та дорогокоштовних інструментів	61000
5. Відтворювання малоцінних і швидкозношуваних предметів	7500
6. Інші витрати	44000
Усього	918900

Витрати на утримання та експлуатацію обладнання розподіляють на собівартість одиниці продукції пропорційно основній заробітній платі виробничих робітників.

Розрахуємо відсоток витрат на утримання та експлуатацію:

$$L = \frac{\sum ВУО}{ЗП_0} \cdot 100 \% = \frac{918900}{528000} \cdot 100 \% = 174 \%, \quad (6.16)$$

де ВУО – сума витрат на утримання обладнання;

ЗП₀ – основна заробітна плата виробничих робітників

Розрахуємо розмір витрат на утримання та експлуатацію обладнання, що припадає на одиницю виробу:

$$ВУ_i = \frac{L}{100} \cdot З_{oi} = \frac{174}{100} \cdot 68,75 = 120 \text{ грн.}, \quad (6.17)$$

де З_{oi} – основна заробітна плата на одиницю продукції, грн.;

Стаття «Загальновиробничі витрати» - це витрати на управління в межах цеху. Стаття є комплексна і охоплює такі витрати:

1. Утримання цехового персоналу – річний фонд заробітної плати спеціалістів та керівників – 156000 грн та відрахування на соціальні заходи – 32750 грн.

2. Утримання помешкань та інвентарю:

- вартість освітлювальної електричної енергії:

$$E_{os} = \frac{C \cdot q \cdot S \cdot F_{os}}{1000} = \frac{2,16 \cdot 20 \cdot 216 \cdot 2000}{1000} = 12100 \text{ грн.}, \quad (6.18)$$

де C – вартість електроенергії, грн.;

q – норма використання електричної енергії за 1 годину на 1 м^2 площі ($q = 20 \text{ Вт}$);

S – площа ділянки, м^2 ;

F_{os} – тривалість освітлення в рік, годин (2000 годин при двозмінній роботі ділянки).

- вартість води на побутові нужди:

$$S_{пн} = S_b \cdot Q_b = 7 \cdot 1800 = 12600 \text{ грн.}, \quad (6.19)$$

де S_b – вартість 1 м^3 води, грн;

Q_b – річна потреба у воді, м^3 ;

– вартість пари на опалення:

$$S_{по} = \frac{S_{пар} \cdot V \cdot H \cdot q}{i \cdot 500} = \frac{35 \cdot 570 \cdot 4320 \cdot 20}{540 \cdot 500} = 6400 \text{ грн.}, \quad (6.20)$$

де V – об'єм приміщення ділянки, м^3 ;

$S_{пар}$ – вартість 1 т. пари, грн;

H – число годин опалювального сезону, год;

q – питома витрата тепла на 1 м^3 будівлі, ккал/год;

i – тепловіддача, ккал.

3. Поточний ремонт помешкань та інвентарю – 1800 грн.

4. Амортизаційні відрахування будівель і споруд – 1800 грн.

5. Витрати на проведення досліджень, раціоналізацію та винахідництво – 2000 грн.

6. Витрати на охорону праці – 3500 грн.

7. Інші витрати – 5800 грн.

Таблиця 6.12 – Кошторис загальновиробничих витрат

Найменування статей витрат	Сума, грн
1. Утримання цехового персоналу	156000
2. Утримання помешкань та інвентарю	31100
3. Поточний ремонт помешкань та інвентарю	1800
4. Амортизаційні відрахування будівель та інвентарю	1800
5. Витрати на проведення випробувань, досліджень, раціоналізації та винахідництво	2000
6. Витрати на охорону праці	3500
7. Інші витрати	5800
Усього	201600

Загальновиробничі витрати розподіляють на собівартість одиниці продукції пропорційно основній заробітній платі виробничих витрат робітників.

Розрахуємо процент загальновиробничих витрат:

$$\beta = \frac{\sum ZBV}{ЗП_0} = \frac{201600}{528000} = 38,2 \%, \quad (6.21)$$

Розрахуємо загальновиробничі витрати, які відносяться на собівартість одиниці продукції (ZBV_i):

$$ZBV_i = \frac{\beta}{100} \cdot З_{oi} = \frac{38,2}{100} \cdot 68,75 = 26 \text{ грн.}, \quad (6.22)$$

Собівартість одиниці продукції розраховується на основі складання калькуляції собівартості продукції (табл. 6.13).

Таблиця 6.13 – Калькуляція собівартості продукції за новою технологією

Статті витрат	Витрати	
	всього витрат, грн	на одиницю, грн
1. Основні матеріали	3510000	468,0
2. Куплені комплектуючі та напівфабрикати	61000	8,1
3. Основна заробітна плата основних робітників	288000	38,4
4. Додаткова заробітна плата основних робітників	144000	19,2
5. Відрахування на соціальні заходи	90700	8,0
6. Паливо та енергія на технологічні цілі	241900	32,2
7. Утримання та експлуатація машин і обладнання	918900	122,5
8. Загальновиробничі витрати	201600	26,9
9. Собівартість виробнича	5425900	723,4
10. Адміністративні витрати	432000	57,6
11. Витрати на збут	108500	14,5
12. Собівартість повна	5966400	795,5

В разі, якщо вироби будуть реалізовані за межі підприємства, необхідно розрахувати ціну продажу:

$$Ц_{\text{пр}} = C_{\text{п}} + П + \text{ПДВ} = 795,5 + 198,9 + 159,1 = 1153,5 \text{ грн.}, \quad (6.23)$$

де $C_{\text{п}}$ – повна собівартість, грн;

$П$ – прибуток, грн. (норматив рентабельності 25%);

ПДВ – податок на додану вартість (20%)

Таблиця 6.14 – Калькуляція собівартості продукції за старою технологією

Статті витрат	Витрати	
	всього витрат, грн	на одиницю, грн
1. Основні матеріали	3475500	463,4
2. Куплені комплектуючі та напівфабрикати	117000	15,6
3. Основна заробітна плата основних робітників	312000	41,6
4. Додаткова заробітна плата основних робітників	156000	20,8
5. Відрахування на соціальні заходи	67000	8,9
6. Паливо та енергія на технологічні цілі	325000	43,3
7. Утримання та експлуатація машин і обладнання	1400000	186,7
8. Загальновиробничі витрати	201600	26,9
9. Собівартість виробнича	6054000	807,2
10. Адміністративні витрати	468000	62,4
11. Витрати на збут	120750	16,1
12. Собівартість повна	6642650	885,7

В разі, якщо вироби будуть реалізовані за межі підприємства, необхідно розрахувати ціну продажу:

$$C_{\text{пр}} = C_{\text{п}} + \Pi + \text{ПДВ} = 885,7 + 221,4 + 177,1 = 1284,2 \text{ грн.}$$

де $C_{\text{п}}$ – повна собівартість, 91грн.;

Π – прибуток, 91грн.. (норматив рентабельності 25%);

ПДВ – податок на додану вартість (20%)

6.3 Економічне обґрунтування запропонованих розробок

В даному розділі необхідно розрахувати річний економічний ефект, який можливо отримати при виробництві виробів на спеціалізованій дільниці по запропонованому технологічному процесу в порівняння з виробництвом цих же виробів на діючому підприємстві. Крім цього необхідно оцінити ефективність і результативність діяльності виробничої дільниці та розрахувати беззбитковість виробництва.

6.3.1 Розрахунок економічного ефекту

Порівняльна економічна ефективність полягає у визначенні найбільш економічного варіанта рішення господарської задачі. Показниками порівняльної економічної ефективності є: сума зведених витрат, сума ефекту за розрахунковий рік. Показник зведених витрат:

$$З = C_i + \epsilon_n \cdot K_i, \quad (6.24)$$

де C_i – поточні витрати (повна собівартість C_n) за i -тим проектом, грн.;

ϵ_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень ($\epsilon_n = 0,15$);

K_i – капітальні вкладення за i -тим проектом, грн

$$З_{\text{стар.техн.}} = 6642650 + 0,15 \cdot 1400000 = 6852650 \text{ грн.}$$

$$З_{\text{нов.техн.}} = 5966400 + 0,15 \cdot 950000 = 6108900 \text{ грн.}$$

Економічний ефект E за розрахунковий рік:

$$E = Z_1 - Z_2 = Z_{\text{стар.техн.}} - Z_{\text{нов.техн.}} = 6852650 - 6108900 = 743750 \text{ грн.}, \quad (6.25)$$

6.3.2 Ефективність та результативність

Оцінку ефективності та результативності діяльності можна здійснити за показниками:

- 1) Річний випуск виробів:
 - В натуральному вимірі, одиниць;
 - По трудомісткості, нормо-годин;
 - В грошовому вимірі, грн.;
- 2) Виробнича площа ділянки, м²;
- 3) Вартість основних засобів, грн.;
- 4) Спискова чисельність персоналу усього, осіб, у тому числі:
 - основні робочі;
 - допоміжні робочі;
 - керівники та фахівці;
- 5) Фонд оплати праці, грн.;
- 6) Середня заробітна плата на місяць, грн.;
- 7) Продуктивність праці одного працівника:

$$\text{ПП} = \frac{C_{\text{п}}}{R} = \frac{5966400}{11} = 542400 \frac{\text{грн}}{\text{осіб} \cdot \text{рік}}, \quad (6.26)$$

де $C_{\text{п}}$ – повна собівартість виробів за рік, грн.;

R – чисельність персоналу ділянки, осіб

- 8) Фондовіддача:

$$f = \frac{C_{\text{п}}}{\Phi_{\text{осн}}} = \frac{5966400}{950000} = 6,28 \frac{\text{грн}}{\text{грн}}, \quad (6.27)$$

де $\Phi_{\text{осн}}$ – основний капітал, грн.

- 9) Фондомісткість:

$$f' = \frac{\Phi_{\text{осн}}}{C_{\text{п}}} = \frac{950000}{5966400} = 0,16 \frac{\text{грн}}{\text{грн}}, \quad (6.28)$$

- 10) Коефіцієнт завантаження обладнання;

11) Собівартість одиниці продукції, грн.

Показники ефективності та результативності діяльності дільниці плазмового напилення бандажів волочильних станів наведені у табл. 6.15.

Таблиця 6.15 – Показники ефективності та результативності дільниці плазмового напилення

Найменування показника	Значення показника
1. Річний випуск виробів	
- в натуральному вимірі, одиниць;	7500
- по трудомісткості, нормо-годин;	3950
- в грошовому вимірі, грн.;	5966400
2. Виробнича площа дільниці, м ²	216
3. Вартість основних засобів, грн	891250
4. Спискова чисельність персоналу усього, осіб	11
- основні робочі;	4
- допоміжні робочі;	5
- керівники, спеціалісти;	2
5. Фонд оплати праці, грн	792000
6. Середня заробітна плата за місяць, грн	8625
7. Продуктивність праці одного працівника, грн/осіб	542400
8. Фондовіддача.	6,28
9. Коефіцієнт завантаження обладнання.	0,55
10. Фондомісткість	0,16
11. Повна собівартість одиниці продукції, грн.	885,7
12. Економічний ефект за розрахунковий рік	743750

Таким чином, використовуючи технологію плазмового напилення струмоведучим дротом при відновленні бандажів волочильних станів, можливо значно підвищити техніко-економічні показники і ресурс роботи виробу.

Перевагами даної технології по відношенню до старої є:

1. Використання меншої кількості обладнання, зниження витрат на його обслуговування, кількості основних та допоміжних матеріалів, кількості основних працівників на дільниці, що дає змогу значно знизити виробничу собівартість виробу.

2. Нова технологія дає змогу підвищити ресурс роботи бандажу з 38 до 112 робочих змін, що дає змогу посилити позиції підприємства у конкурентній боротьбі.

3. Економічний ефект від запропонованої технології складає 743750 грн. у рік.

7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі надані основні заходи з охорони праці при дослідженні оптимізації процесу плазмового напилення струмоведучим дротом бандажів волоочильного стану з проектуванням дільниці.

7.1 Аналіз потенційних небезпек

а) Можливість ураження електричним струмом при виконанні частини дослідних робіт на дільниці плазмового напилення, що може бути пов'язано з порушенням правил електробезпеки, зокрема, не використанням індивідуальних та групових заходів захисту, відсутністю надійних огорожень струмоведучих частин обладнання, що може привести до електричних травм або летальних наслідків;

б) Небезпеки, які пов'язані з підготовкою дослідних зразків, зокрема можливістю отримання механічних травм при використанні відрізних кругів, шліфувально-полірувальних верстатів, унаслідок порушенням правил з охорони праці, зокрема невикористання спеціального одягу, використання несправного обладнання та інструменту, захаращеність робочого місця.

в) Небезпеки, які пов'язані з дробоструминною обробкою на інсталяції КСО-130М «Плазматех», зокрема травмування органів зору при вильоті дробу в зону, де знаходиться дослідник (інструкція ОГТ 3525-2001), що може бути пов'язано з порушенням правил з охорони праці, зокрема невикористання спеціальних засобів захисту;

г) Небезпеки при нанесенні покриттів на деталі методом плазмового напилення струмоведучим дротом, зокрема підвищений рівень шуму при роботі плазмотрону, електроофтальмія – потужне ультрафіолетове

випромінювання від плазмової дуги, інтенсивне інфрачервоне випромінювання, що може бути пов'язано з порушенням правил безпеки, не використанням індивідуальних засобів захисту та може призвести до захворювань органів слуху людини, органів зору та шкіри людини.

д) Небезпеки пов'язані з виділенням у навколишнє середовище аерозолів тугоплавких матеріалів і металів у вигляді окисних і нітрідних сполук, які утворюються унаслідок конденсації парів напилюваного матеріалу та його розбризкування при потраплянні на поверхню виробу, що можуть привести до отруєння та хронічних захворювань органів дихання, внаслідок відсутності або несправності місцевої витяжної вентиляції та не використання індивідуальних засобів захисту;

е) Можливість опіку, внаслідок непередбаченого торкання нагрітих деталей;

ж) Небезпеки, які пов'язані з використанням ПК при обробці результатів дослідження, зокрема негативний вплив електромагнітних полів та випромінювання ПК застарілих моделей.

з) Незадовільні параметри повітряного середовища на ділянці та дослідницькому приміщенні. Причинами цього є незадовільна робота системи опалення й кондиціонування, що може привести до зниження працездатності й загальних захворювань.

и) Незадовільне освітлення виробничих зон на ділянці напилення, внаслідок виходу з ладу або забрудненості освітлювальних приладів, що може призвести до погіршення зору або механічних травм.

к) Можливість загорання ділянці напилення, внаслідок порушення правил пожежної безпеки, порушень технологічного процесу, що може призвести до пожежі.

л) Небезпеки, які пов'язані з умовами праці в надзвичайних ситуаціях. Зокрема укриття населення у захисних спорудах цивільного захисту. Причинами пов'язаними з неправильним або взагалі відсутнім укриттям населення в надзвичайних ситуаціях можуть бути недосвідченість персоналу

або неправильні дії керівництва, що може привести до важких травм, летальних наслідків і масштабних руйнувань.

7.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки

а) Для виключення уражень електричним струмом при плазмовому напыленні на інсталяції в дослідницькій лабораторії обладнання повинне відповідати правилам ПУЕ-2013 «Правила улаштування електроустановок», де передбачено:

- струмовідні частини електроустановки, не повинні бути доступними для випадкового прямого дотику до них, а доступні для дотику відкриті і сторонні провідні частини не повинні перебувати під напругою, що становить небезпеку ураження електричним струмом, як у нормальному режимі роботи електроустановки, так і в разі пошкодження ізоляції;

- для запобігання ураженню електричним струмом при непередбаченому торканні механізму подачі дроту, який знаходиться під напругою слід застосовувати окремо або в поєднанні такі заходи захисту від прямого дотику: розміщення поза зоною досяжності та надійне екранування або огороження цього механізму;

- для запобігання ураженню електричним струмом у випадку пошкодження ізоляції слід застосовувати окремо або в поєднанні такі заходи захисту в разі непрямого дотику: захисне заземлення; автоматичне вимикання живлення; зрівнювання потенціалів; обладнання класу II або з рівноцінною ізоляцією; захисний електричний поділ кіл; ізолювальні (непровідні) приміщення, зони, площадки; системи наднизької (малої) напруги; вирівнювання потенціалів;

- розміщення обладнання установки для напылення, її вузлів та механізмів, а також органів керування повинно забезпечувати вільний,

зручний та безпечний доступ до них. Окрім того, розташування органів керування повинно забезпечувати можливість швидкого вимикання обладнання та зупинення всіх його механізмів

б) Для виключення отримання механічних травм повинне бути передбачене проведення усіх необхідних інструктажів з охорони праці, згідно НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці».

Дослідник повинен бути забезпечений спеціальним одягом та індивідуальними захисними засобами відповідно до ГОСТ 12.4.103-83 «Одежда специальная защитная, средства индивидуальной защиты рук и ног. Классификация», або груповими засобами захисту згідно з ГОСТ 12.4.125-83 ССБТ «Средства коллективной защиты работающих от воздействия механических факторов. Классификация», до яких відносять брезентові захисні костюми, рукавиці брезентові, спеціальне взуття із захисними носками, щітки захисні або окуляри.

До порізки зразків абразивними колами допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли необхідні інструктажі з охорони праці і отримали допуск до самостійної роботи. При роботі з абразивними колами категорично забороняється:

- використовувати не за призначенням абразивні кола та інструмент;
- працювати без належного захисного одягу та обладнання;
- забороняється використовувати пошкоджені абразивні круги.

Отримання механічних травм найчастіше відбувається внаслідок захащення робочої ділянки та порушень правил експлуатації машин та механізмів. В зв'язку з цим обов'язковим є щоденний контроль за станом робочої зони зі сторони керівництва відповідно до ДСТУ 3273-95 «Безпечність промислових підприємств. Загальні положення та вимоги».

в) Для виключення отримання механічних травм органів зору пов'язаних з використанням обладнання дробоструминної обробки на інсталяції КСО-130М «Плазматех», дослідник повинен виконувати

положення інструкції підприємства ОГТ 3525-2001, у яких передбачено використання спеціальних засобів захисту зору, зокрема захисних щитків або окулярів ГОСТ 12.4.011-89 «Средства защиты работающих. Общие требования и классификация».

г) Для мінімізації негативного впливу підвищеного шуму при нанесенні покриттів плазмовим методом необхідно:

- використовувати антифони (типу ВЦНИИОТ) ГОСТ 12.4.051-87 «Средства индивидуальной защиты органов слуха. Общие технические требования», які захищають слухові органи людини і в той же час дозволяють чути розмовну мову;

- стіни робочого приміщення, де розташовується установка плазмового напилення повинні бути покриті звукоізолюючим та звукопоглинаючим матеріалом (наприклад, гіпсова акустична плитка або плитка типу акмігран);

З огляду на те що, плазмова дуга – є інтенсивним джерелом світлового, ультрафіолетового, інфрачервоного випромінювання. Для захисту від шкідливого впливу променевої енергії необхідно:

- для захисту зору та лиця необхідно використовувати зварювальні маски або щитки зі світлофільтрами Э-200, Э-300, Э-400 згідно ДСТУ 2456-94 «Зварювання дугове. Вимоги безпеки». Крім того, рекомендується користуватися окулярами зі світлофільтрами типу В-2, В-3 для краточасної роботи без маски (при запалюванні дуги, перевірці режиму роботи розпилювача).

- стіни приміщення, де знаходиться установка плазмового напилення повинні бути окрашені у матовий колір для запобігання потрапляння бліків у очі;

- для захисту шкіри від впливу інтенсивного інфрачервоного випромінювання необхідно використовувати захисні костюми згідно ГОСТ 12.4.045-87 «Костюмы для защиты от повышенных температур. Технические условия».

д) Для захисту органів дихання необхідно видаляти аерозолі тугоплавких матеріалів і металів у вигляді окисних і нітрідних сполук (які виділяються у навколишнє середовище при напиленні) з робочого простору оператора установки плазмового напилення за допомогою:

- використання місцевої витяжної вентиляції в режимі витоку, зі швидкістю руху повітря у робочому прорізі витяжної шафи не менш ніж 1,5 м/с;

- використання індивідуальних засобів захисту – респіраторів згідно з ГОСТ 12.4.028-76 «Система безопасности труда. Респираторы ШБ-1 «Лепесток»»

е) Для виключення термічних опіків передбачено використання індивідуальних засобів захисту, зокрема брезентових рукавиць ГОСТ 12.4.010-75 ССБТ «Средства индивидуальной защиты. Рукавицы специальные. Технические условия».

ж) Загальні вимоги до техніки безпеки при роботі на комп'ютері

Персонал, що працює на комп'ютері зобов'язаний дотримуватися вимог інструкції розробленої на підставі Санітарних норм і правил СанПин 2.2.2.542-96 «Гігієнічні вимоги до відео дисплейних терміналів, персональних електророзрахункових машин і організації робіт», а також нести особисту відповідальність за дотримання вимог безпеки своєї праці і за створення небезпечного чи шкідливого виробничого фактора для інших працюючих і поломку комп'ютера.

При роботі за комп'ютером шкідливими чинниками є:

- електростатичні поля;
- електромагнітне випромінювання;
- наявність потужних іонізуючих випромінювань;
- локальне стомлення, загальна втома;
- стомлюваність очей;
- небезпека ураження електричним струмом;
- пожежонебезпека

Для забезпечення оптимальної працездатності і збереження здоров'я протягом часу роботи з комп'ютером повинні встановлюватися регламентовані перерви. Перед початком роботи необхідно переконатися, що монітори комп'ютера мають антиблокове покриття з коефіцієнтом відбиття не більше 0,5. Покриття повинне також забезпечувати зняття електростатичного заряду з поверхні екрана, іскріння та неіонізуючих випромінювань. Необхідно перевірити робоче положення комп'ютера відстань між стіною з віконними прорізами і столом має бути не менше 0,8 м. При невеликій кількості робочих місць бажано розташовувати столи біля протилежної стіни щодо віконних прорізів. Відстань між робочими столами повинна бути не менше ніж 1,2 м. Не допускається знаходження другого робочого місця з боку задньої стінки комп'ютера. Оптимальними параметрами температури в кабінеті є 19-21, допустимими 18-22, відносна вологість повітря 62-55 %.

У приміщенні слід здійснювати наскрізне провітрювання для поліпшення якісного складу повітря, щодня проводити вологе прибирання.

Для зволоження повітря слід використовувати зволожувачі. У приміщенні повинно бути штучне і природне освітлення. Основний потік природного світла повинне бути ліворуч, не допускається праворуч, ззаду і спереду працює на комп'ютері, на вікнах повинні бути завіси в два рази більше ширини вікна. Забороняється застосування для вікон чорні завіси.

Приміщення, де знаходиться комп'ютери відноситься до пожежонебезпечного приміщення категорії «Б», тому необхідно мати вуглекислотний вогнегасник типу ВВК-5 і вміти ним користуватися. Звернути увагу на заземлення, тому що в комп'ютері використовуються мікросхеми, чутливі до статичної електрики. Звернути особливу уваги на цілісність ізоляції всіх кабелів та роз'ємів, щоб не виявити несподівано під напругою щодо землі. Забороняється самостійно відкрити комп'ютера, з-за високої напруги всередині. Виключається робота з комп'ютером і його периферійними пристроями з відкритим корпусом, самостійно перемикає силові та інтерфейсні кабелі, проливати рідини і т.д. Робоче місце

працюючого на комп'ютері передбачено обладнати спеціальними меблями; обертовим стільцем із змінною висотою сидіння і кута нахилу спинки. При роботі на комп'ютері працюючий повинен бути уважним, не відволікатися на побудову справи.

Під час роботи комп'ютера забороняється:

- залишати комп'ютер без нагляду;
- проводити ремонт;
- знімати корпус з комп'ютера

Тривалість безперервної роботи з комп'ютером без регламентованої перерви не повинна перевищувати 2 годин. Під час регламентованої перерви з метою зниження нервно-емоційного напруження, стомлення зорового аналізатора, усунення впливу гіподинамії та гіпокінезії, запобігання розвитку втоми доцільно виконувати комплекси вправ. Рівень шуму в приміщенні під час роботи комп'ютерів не повинен перевищувати 50 дБА. Конструкція відео монітора повинна передбачати заходи, що забезпечують хорошу розбірливість зображення, незалежну від зовнішнього освітлення.

Категорично забороняється використання на робочому місці електронагрівальних приладів з відкритим елементом, відкритим вогнем. Користування електронагрівальними приладами з закритими нагрівальними елементами дозволяється тільки у спеціально відведених для цього місцях. Недотримання вимог до мікроклімату приміщення може не тільки різко знижувати продуктивність праці, викликати втрати робочого часу через збільшення числа помилок у роботі, але і приводити до функціональних розладів або хронічних захворювань органів дихання, нервової та імунної системи.

7.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

з) Для забезпечення оптимальних параметрів повітряного середовища згідно ГОСТ 12.1.005-88 «Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» на дільниці наплення, окрім місцевої вентиляції повинно бути передбачено влаштування загальнообмінної вентиляції згідно ДСТУ 12.4.021-75 «Система стандартов безопасности труда. Системы вентиляционные. Общие требования», та системи водяного або парового опалення згідно СНиП 2.04.05-91 «Строительные нормы. Отопление, вентиляция и кондиционирование».

Для забезпечення оптимальних фізичних параметрів повітряного середовища на дільниці плазмового наплення необхідно визначити продуктивність природної вентиляції $L_{\text{п}}$:

$$L_{\text{п}} = k \cdot V_{\text{п}} = 2 \cdot 1512 = 3024 \text{ м}^3/\text{год.}, \quad (7.1)$$

де k – кратність повітрообміну на дільниці, $k = 2$;

$V_{\text{п}}$ – об'єм приміщення дільниці плазмового наплення

При плазмовому напленні покриттів у робочу зону оператора установки здійснюється виділення шкідливих речовин, концентрація яких значно перевищує допустимі норми згідно ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» (діоксид кремнію SiO_2 у вигляді аерозолі конденсації – 2 мг/м^3 , оксид хрому Cr_2O_3 – 1 мг/м^3), тому необхідно розрахувати продуктивність місцевої витяжної вентиляції $L_{\text{м}}$ (витяжного зонту):

$$L_{\text{м}} = a \cdot b \cdot V \cdot 3600 = 0,5 \cdot 0,75 \cdot 1,5 \cdot 3600 = 2025 \frac{\text{м}^3}{\text{год.}}, \quad (7.2)$$

де a та b – розміри зонту в плані м, $a \times b = 0,375 \text{ м}^2$;

V – швидкість руху повітря, яке відсмоктується, в площині перерізу по кромці зонту, $V = 1,5 \text{ м/с}$

и) Згідно з державними будівельними нормами ДБН В.2.5-28:2016 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення» на ділянці плазмового напилення необхідно здійснити належне освітлення робочих місць робітників.

Роботи на ділянці плазмового напилення покриттів слід відносити до II (роботи високої точності) та III (точні роботи) розрядам. На ділянці допускається природне, штучне та змішане освітлення. Природне освітлення може бути боковим, одностороннім та двостороннім верхнім. Коефіцієнт природної освітленості при верхньому та комбінованому освітленні повинен складати не менш ніж 5 %, при боковому не менше 15 %.

Штучна освітленість на робочому місці при системі комбінованого освітлення допускається не менше ніж 400 лк, при системі загального освітлення – не менше 150 лк.

У приміщенні для плазмового нанесення покриттів повинно бути передбачено аварійне освітлення, яке забезпечує продовження роботи при освітленості не менш ніж 10 % норми загального освітлення, а у проходах – не менше 0,3 лк.

7.4 Заходи з пожежної безпеки

к) Причинами пожежі при напиленні можуть бути іскри та краплі розплавленого металу, необережне ставлення до газових балонів. Основні вимоги пожежної безпеки викладено в «Правилах пожежної безпеки при проведенні зварювальних та інших вогневих робіт на об'єктах народного господарства». Для попередження пожег персонал ділянки повинен виконувати наступні правила:

- проходити регулярні інструктажі пожежно-технічного мінімуму та правилам безпечної роботи;

- суворо дотримуватися правил пожежної безпеки, чистоти та порядку на робочому місці;
- слідкувати за встановленням захисних огорожень;
- правильно експлуатувати газові балони та інше обладнання;
- слідкувати за справністю системи електроживлення;
- не загороджувати проїзди та проходи, а також підступи до засобів пожежогасіння;
- забороняється користуватися відкритим вогнем;
- паління дозволяється лише у спеціально відведених місцях

Місця, де виконується напилення, мають бути оснащені вуглекислотними вогнегасниками типу ВВК-5, ящиками з піском, лопатами та совками, бочками чи відрами з водою. Дерев'яні конструкції, розташовані ближче 5 м від установки плазмового напилення, обштукатурюють або оббивають листовим азбестом чи листовою сталлю по повсті, змоченій в глинистому розчині. В зоні попадання бризок металу та іскор не має бути займистих предметів. Легкозаймисті та вибухонебезпечні матеріали повинні бути на відстані не менш як 30 м від місця напилення. Дерев'яні підлоги, настили, помости при потребі захищають від іскор і крапель розплавленого металу листами азбесту чи заліза.

Перед початком роботи оператора плазмової установки потрібно перевірити справність напилювальної апаратури, підготовленість робочого місця в протипожежному відношенні: наявність засобів пожежогасіння, внутрішніх пожежних кранів, піску, вогнегасників. Якщо робоче місце не підготовлене, до роботи приступати не можна.

Особи, які не здали випробування з напилювальних робіт, а також що не пройшли попередню перевірку знань правил пожежної безпеки, до виконання робіт, навіть тимчасових, не допускаються.

7.5 Заходи по забезпеченню безпеки в умовах надзвичайних ситуацій

л) Заходи, які пов'язані з небезпекою роботи в умовах надзвичайних ситуацій

Порядок дій сил цивільної оборони (ЦО) при ліквідуванні наслідків стихійних лих.

У більшості випадків стихійні лиха супроводжуються загибеллю матеріальних цінностей, а іноді і людськими втратам. Тому при ліквідації наслідків стихійних лих основним завданням сил ЦО є врятування людей і (по можливості) матеріальних цінностей. Успіх дій формувань багато в чому залежить від своєчасної організації і проведення розвідки й обліку конкретних умов обстановки. Оскільки стихійні лиха виникають раптово, оповіщення о.с. формувань, їх комплектація і створення угруповань сил ЦО повинні проводитися в найкоротший термін. Виступ формувань з районів збору в райони дій повинен здійснюватися з максимально можливою швидкістю. Командири формувань у районах робіт повинні постійно знати обстановку і, у відповідності з її зміною, уточнювати раніше поставлені чи ставити нові завдання підрозділам.. Прогнозувати загрози повеней дозволяє вчасно здійснити комплекс попереджувальних заходів, які значно знижують можливі збитки, а також створити сприятливі умови для проведення рятувальних та інших невідкладних робіт у зонах затоплення. Зміст цих заходів і їх обсяг визначаються часом попередження повені.

Так, масштаби повеней, які викликаються весняними водами, можна прогнозувати за місяць і навіть більше завдяки постійним спостереженням органами гідрометеослужби, визначенню висоти снігового покриву і встановленню залежності виникнення повені від нього, визначенню запасів вологи в ґрунті, знанню строків скресання річок, температури повітря в період паводку і т.п. Отже, можна заздалегідь провести протипаводкові заходи.

При паводках, які викликаються заторами, час попередження звичайно обчислюється декількома годинами, тобто він значно менший, ніж у розглянутому вище випадку. Але з огляду на те, що місця постійних заторів звичайно відомі, запобіжні заходи можна вжити задовго до льодоходу.

Паводки, які викликаються випаданням рясних злив та інтенсивним таненням льодовиків, прогнозуються на основі багаторічних спостережень.

Про майбутню небезпеку повені чи селевого потоку оповіщаються всі організації і населення. Начальники, штаби і служби ЦО приводять у готовність формування, які залучаються до ведення боротьби зі стихійним лихом, ставлять їм завдання, вказують послідовність, способи і терміни їх виконання, уточнюють питання взаємодії й організовують управління.

Для виявлення й уточнення обстановки організовується розвідка. Найбільш оперативною є повітряна, яка до того ж дає можливість одержання інформації про значні території. Більш точний стан поблизу гребель і мостів визначають, використовуючи дані наземної розвідки.

У населених пунктах і на об'єктах, яким загрожує затоплення, виставляють рятувальні пости зі складу формувань і встановлюється зв'язок з ними. Для захисту мостів, гребель, водозабірних та інших споруд виділяють аварійні команди. У місцях, де можливі затори льоду, установлюється цілодобове чергування команд підривників. За рішенням місцевих органів влади можуть бути проведені: завчасна евакуація населення, вивезення матеріальних цінностей і відгін сільськогосподарських тварин у безпечні місця. Про початок і порядок евакуації керівний склад ЦО оповіщає населення по місцевих каналах радіотрансляції і телебачення, через адміністрацію ОГ і домоуправління. У випадку раптових паводків попередження населення здійснюється всіма наявними технічними засобами, включаючи і гучномовні рухливі установки.

Успіх у проведенні рятувальних робіт залежить від того, наскільки оперативно організована розвідка, швидко і повно оцінена сформована обстановка, вчасно організовані дії сил і чітке управління ними.

РІНР у зонах затоплення і селевих потоків пов'язані з небезпекою, особливо при діях на воді, на льоду і при виконанні підривних робіт. Особовий склад, який залучається для цих цілей, повинен бути навчений правилам поведінки на воді, прийомам порятунку потоплюючих і надання їм першої медичної допомоги. Формування, що діють на плавзасобах, оснащуються необхідним інвентарем: рятувальними кругами, поясами, баграми, драбинами, канатами і т.п.

Для підтримки порядку в районах затоплення, на шляхах евакуації населення й у місцях його зосередження, на маршрутах рух сил, а також на автомобільних і залізничних шляхах організовується комендантська служба. Крім того, у зонах затоплення і місцях зосередження евакуйованого населення організовується охорона громадського порядку, яка гарантує безпеку людей, захист державного й особистого майна.

Урагани, володіючи руйнівною силою, можуть задати населенню і народному господарству серйозних матеріальних збитків і нерідко призводять до загибелі людей. Виникають вони в результаті різкого порушення рівноваги в атмосфері, що виявляється в незвичайних умовах циркуляції повітря.

При ураганах обриваються електричні проводи на опорах, порушується телефонний і телеграфний зв'язок, зриваються покрівлі з житлових будинків, виробничих будинків і тваринницьких ферм, виникають різні пошкодження, аварії, пожежі.

У зонах ураганів у період їх виникнення за вказівками органів влади оповіщається населення и приводяться до готовності формування, виділені для ліквідації наслідків стихійних лих.

Командири військових частин і формувань ЦО, одержавши завдання, виводять підлеглі їм сили до об'єктів робіт; по прибутті в потерпілі від урагану райони організовують порятунок людей, надання потерпілим медичної допомоги і їх евакуацію, локалізацію і гасіння пожеж, а також роботи з усунення аварій і ушкоджень на комунально-енергетичних мережах

і лініях зв'язку та з розчищення завалів улиць і доріг. Відновлення комунально-енергетичних мереж, ліній зв'язку й інших об'єктів організовують відповідно відомства, що мають свої спеціальні ремонтні органи; при великих обсягах робіт можуть використовуватися аварійно-відбудовні й аварійно-технічні формування.

Зсуви можуть спричиняти великі руйнування. Виникають вони через порушення рівноваги порід, викликаного збільшенням крутизни схилу в результаті вимивання його морським прибоєм, течією річки, ослабленням міцності порід від вивітрювання чи надмірного зволоження атмосферними опадами або підземними водами, а також під впливом зовнішніх сил, особливо сейсмічних поштовхів. Зсуви можуть бути викликані і проведенням будівельних робіт без належного урахування геологічних умов місцевості.

Заходи для попередження зсувів і боротьба з ними здійснюються в залежності від факторів, які ці зсуви викликають. До таких заходів відносяться: будівництво споруд, які укріплюють берег проти вимивання схилів; обладнання дренажних споруд по перехопленню і відведенню підземних вод; вириття каналів для поверхневого водостоку, улаштування підпірних стінок різних конструкцій; зміцнення схилів рослинністю і насамперед – лісопосадками.

Роботи з проведення протизсувних заходів ведуться дорожньо-будівельними й іншими спеціалізованими організаціями, до їх виконання при необхідності можуть залучатися команди механізації робіт та інші формування ЦО. Дійовим засобом у зсувних районах є встановлення постійного спостереження за обстановкою. Про початок переміщення порід негайно оповіщається населення й організації прилеглих районів. Приводяться у готовність необхідні сили і засоби, здійснюється евакуація людей, вивозяться з небезпечної зони матеріальні цінності.

Для ліквідації наслідків зсувів зведені загони та команди, зведені загони і команди механізації робіт, деякі формування служб. Можуть використовуватися і військові частини.

Рятувальні роботи в районах, де відбулися зсуви і обвали, полягають у пошуку і витягуванні людей з-під завалів, наданні їм першої медичної допомоги та евакуації в стаціонарні лікувальні установи. Одночасно влаштовуються проїзди в завалах, локалізуються і гасяться пожежі, ліквідуються аварії на газових і енергетичних мережах. Після зупинки зсуву проводиться ремонт і відновлення доріг, мостів, ліній і засобів зв'язку, розчищення вулиць від завалів. Землетруси відбуваються звичайно раптово, що може представляти дуже велику небезпеку. Переважна більшість їх відноситься до слабких і не викликає негативних наслідків, однак чимало буває і сильних, руйнівних землетрусів, які заподіють чисельні лиха. Землетруси можуть стати причиною гірських і сніжних обвалів, які руйнують на своєму шляху ділянки доріг, мости через водні перешкоди та населені пункти.

Щоб уникнути руйнівних наслідків у районах загрози, де можливі поштових силою 7 і більше балів (за 12-бальною шкалою), будуються сейсмостійкі житлові будівлі, промислові будівлі й інші об'єкти та споруди. Для додання будинкам стійкості використовуються високоякісні матеріали, застосовуються особливі антисейсмічні конструкції, не допускається використання надто важких деталей, обмежується поверховість житлових будинків, ставляться підвищені вимоги до якості будівельних робіт. У містобудуванні переважає просторе планування, яке забезпечує наявність достатніх розмірів між будинками, широких вулиць і проїздів. Вживаються заходи щодо підвищення сейсмостійкості підземних інженерних комунікацій, а також посилення протипожежної безпеки

При ліквідації наслідків землетрусів у постраждалих містах і на ОГ рішенням органів влади чи надзвичайних комісій для проведення рятувальних робіт, локалізації і ліквідації аварій на комунально-енергетичних мережах і гасіння пожеж залучаються спеціалізовані формування відомств, формування ЦО міст і районів, військові частини. Найбільш складні рятувальні й інші невідкладні роботи виконують військові частини ЦО,

зведені загони і зведені загони механізації робіт, а також формування служб (спеціальні формування) різного призначення і, у першу чергу, аварійно-технічні і медичні.

Склад і дії при ліквідації наслідків землетрусів визначаються характером і обсягом руйнувань. Успіх багато в чому залежить від повноти і своєчасності одержання розвідувальних даних. Розвідка повинна установити характер руйнувань будівель і споруд, місцезнаходження і стан постраждалого населення, яке опинилося під завалами чи в частково зруйнованих будівлях і спорудах, ступінь пошкодження комунально-енергетичних мереж, визначити зони суцільних пожеж, можливість їх розвитку, а також розвідати шляхи підходу до об'єктів робіт. Ведеться вона розвідувальними підрозділами військових частин ЦО і розвідувальними формуваннями різного призначення, при цьому використовується інформація від органів МВС й інших відомств. Для визначення санітарно-епідемічного стану району землетрусу, виявлення кількості і стану потерпілих, установлення можливості розгортання медичних формувань і визначення потрібної кількості медичних сил проводиться медична розвідка.

Після одержання даних про обстановку і її оцінки уточнюються необхідні для ведення РІНР сили і засоби, їх завдання, створюються угруповання сил.

Виходячи з характеру забудови, наявності транспортних магістралей та інших місцевих умов, а головне – з характеру руйнувань, територія постраждалого міста (району) розбивається на ділянки й об'єкти ведення рятувальних робіт.

Швидке висування сил є одним з вирішальних факторів, що забезпечують успішність проведення рятувальних робіт. Але на шляху можуть зустрічатися різні перешкоди, завали, зруйновані мости, вогнища пожеж та інші перешкоди. Тому необхідно передбачити всі засоби забезпечення руху сил ЦО у вогнищах землетрусів. Чимале значення має порядок уведення техніки в зону руйнувань. У першу чергу підготовляються

шляхи для пропуску гусеничних машин, а потім колісного транспорту. Висування їх слід здійснювати по декількох маршрутах, щоб не знижувати мобільність колон і не допускати розтягування. На кожен маршрут висилаються формування чи підрозділи розвідки і загони забезпечення руху, підсилені протипожежними підрозділами і санітарними дружинами.

В результаті землетрусу основа для о.с. формувань загального призначення і спеціальних формувань ЦО районів, які попали в зону лиха, може виявитися в зонах руйнувань і сама буде потребувати допомоги. Тому можливо, що спочатку рятувальні роботи доведеться проводити на ОГ і в жилих кварталах обмеженими силами і засобами. У таких умовах першочерговими роботами повинні бути виявлення і витягування людей із зруйнованих будинків, з-під завалів, надання їм першої медичної допомоги й евакуація тих, хто потребує лікування, в медичні установи, а також улаштування людей, що залишилися без домівок. Рятування людей організовується в першу чергу з тих будинків, яким загрожують затоплення, пожежі, обвали. Лікарська допомога потерпілим здійснюється в загонах першої медичної допомоги, на медичних пунктах військових частин ЦО й у лікувальних установах, які збереглися. Потім їх вивозять у заміську зону або в лікарні сусідніх міст. Здійснення інших невідкладних робіт припускає в першу чергу усунення тих аварій на комунально-енергетичних і технологічних мережах, що створюють безпосередню загрозу для життя людей і насамперед аварій на комунікаціях зі СДОР. При ліквідації аварій на газопроводах негайно повинна бути припинена подача газу в мережу. Аварії на водопроводі, що проходить поблизу будівель і споруд, можуть спричинити затоплення; пошкоджені ділянки якомога швидше відключаються. В міру прибуття військових частин і формувань із сусідніх районів, міст і областей сили будуть наростати і фронт робіт збільшиться. Але прибуваючі з інших місць не знають особливостей ділянок і об'єктів, на яких їм потрібно буде працювати. Щоб уникнути збільшення строків виконання рятувальних робіт і ускладнень у їх організації, необхідно

безперервно вести розвідку, дані якої дозволяли б знати обстановку, і вчасно, з достатньою повнотою ставити завдання прибуваючим у район землетрусу військовим частинам і формуванням. Рятувальні роботи звичайно ведуться у важких і небезпечних умовах, тому о.с. військових частин і формувань повинен знати і суворо дотримуватися заходів безпеки. Для наведення і підтримки порядку серед населення, яке опинилося в зоні землетрусу, організовується комендантська служба (ядром її є о.с. служби охорони громадського порядку), на основних маршрутах установлюються контрольно-пропускні пункти і вводиться патрулювання.

ВИСНОВКИ

1. Плазмове напилення струмоведучим дротом – високопродуктивний, технологічний процес, який дозволяє наносити покриття завтовшки 0,1...20 мм з усіх матеріалів, які в плазмовому струмені не сублімують і не зазнають інтенсивного розкладу, нагрів виробу у процесі напилення не перевищує 250 °С, у зв'язку з цим відсутність негативного впливу термічного циклу (як при наплавленні) дозволяє отримувати покриття з високими міцністними властивостями при відсутності залишкових деформацій у виробі. Тому цю технологію доцільно використовувати при відновленні та зміцненні робочих поверхонь деталей машин (зокрема бандажів волочильного стану).

2. Однією з найважливіших характеристик якості покриттів – є міцність зчеплення з основним матеріалом виробу, яка досягається за рахунок попередньої дробоструминної обробки поверхні виробу. У наш час проведена велика кількість досліджень в області підготовки поверхні до плазмового напилення, проте результати досліджень носять розрізнений характер, практично відсутні досить обґрунтовані вимоги до параметрів мікрорельєфу поверхні підготовленої до плазмового напилення покриттів.

3. Було проведено дослідження впливу часу дробоструминної обробки на морфологію оброблюваної поверхні і міцність зчеплення плазмового покриття з основою. З'ясовано, що міцність зчеплення покриття при даному способі напилення знаходиться у прямій залежності від шорсткості поверхні сталевих основи. При цьому міцність зчеплення здебільшого обумовлена силами механічного зачеплення. Ці дані дозволяють оптимізувати процес плазмового напилення за рахунок отримання високої міцності зчеплення при шорсткості оброблюваної поверхні R_z у межах 80...90 мкм та розмірів розпилюваних частинок 0,1...0,4 мм при дотриманні технології та техніки напилення. Вищевказані розробки необхідно використовувати відповідно до технології плазмового напилення бандажів волочильного стану.

4. З'ясовано що бандажі волочильного стану експлуатуються в умовах тертя метал по металу при значних контактних динамічних навантаженнях. При зношуванні робочої поверхні бандажу відбувається погіршення експлуатаційних характеристик, наприклад зменшення ККД стану та руйнування або пошкодження поверхні дроту при волочінні. Матеріалом бандажу слугує підшипникова сталь марки ШХ-15СГ, яка забезпечує ресурс роботи бандажу на протязі 38-42 робочих змін. Застосування існуючих технологій відновлення та зміцнення робочої поверхні бандажів є недоцільним через низьку технологічність нанесеного шару покриття та значної вартості матеріалів, які використовуються при напиленні.

5. Основним критерієм вибору зносостійкого матеріалу для даних умов експлуатації є твердість напилюваного покриття та здібність матеріалу основи міцно утримувати зміцнюючі фази. Ці критерії задовольняє порошковий дріт ПП-100Х15Н2Г2Р, розроблений НПП «Плазматех» спільно з ІЄЗ ім. Є.О. Патона, який забезпечує отримання структури напилюваного покриття з високою зносостійкістю за рахунок утворення у ньому карбідів, боридів, карбо-боридів, які мають високу мікротвердість. Отримувана макротвердість плазмового покриття знаходиться на рівні 54...57 HRC, що дещо нижче початкової (62...64 HRC), проте мікротвердість зміцнюючих фаз складає 15-22 ГПа, що значно вище за мікротвердість основи (~9 ГПа).

6. Відповідно до умов експлуатації та обраного зносостійкого матеріалу розроблена технологія плазмового напилення струмоведучим дротом бандажів волочильного стану, підібрано обладнання та спроектоване оснащення яке дозволяє здійснити цей технологічний процес.

7. Нова технологія відновлення дає змогу підвищити ресурс роботи бандажу з 38 до 112 робочих змін. Економічний ефект від запропонованої технології складає 743750 грн. у рік.

8. Розроблені вказівки з техніки безпеки, які забезпечують безпечне ведення процесу плазмового напилення струмоведучим дротом.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кудинов, В. В. Плазменные покрытия [Текст] / В. В. Кудинов. – М. : Наука, 1977. – 184 с.
2. Краснов, А. Н. Низкотемпературная плазма в металлургии [Текст] : учеб. / А. Н. Краснов, С. Ю. Шаривкер. – М. : Металлургия, 1970. – 216 с.
3. Кудинов, В. В. Нанесение тугоплавких покрытий дуговой плазмой [Текст] / В. В. Кудинов // Технология машиностроения. – 1962. - № 21. – С. 41-45.
4. Хренов, К. К. Словарь справочник по сварке [Текст] / К. К. Хренов. – К. : Наукова думка, 1974. – 196 с.
5. Балдаев, Л. Х. Газотермическое напыление [Текст] : учеб. пособие / Л. Х. Балдаев, В. А. Вахалин, В. В. Кудинов. – М. : Маркет ДС, 2007. – 344 с.
6. Кудинов, В. В. Тепловые характеристики металлизационной дуговой плазменной струи [Текст] / В. В. Кудинов // Сварочное производство. – 1964. - № 1. – С. 6-10.
7. Кудинов, В. В. О температуре и скорости частиц при плазменной металлизации [Текст] / В. В. Кудинов // Сварочное производство. – 1965. - № 8. – С. 4-5.
8. Долгополов, Н. Н. Плазменная техника [Текст] / Н. Н. Долгополов, В. И. Фридман. -М. : Знание, 1975. — 64 с.
9. Харламов, М. Ю. Нагрев и плавление проволоки-анода при плазменно-дуговом напылении [Текст] / М. Ю. Харламов, И. В. Кривцун, В. Н. Коржик, С. В. Петров // Автоматическая сварка. – 2011. - № 5. – С. 5-11.
10. Кудинов, В. В. Нанесение плазмой тугоплавких покрытий [Текст] / В. В. Кудинов, В. М. Иванов. — М. : Машиностроение, 1981. — 192 с.
11. Русев, Г. М. Технология восстановления и упрочнения наружных и внутренних поверхностей тел вращения и плоских поверхностей плазменным

напылением [Текст] / Г. М. Русев, В. В. Овсянников, С. М. Киселев, Н. Ф. Галюк // Автоматическая сварка. – 2000. - № 12. – С. 61-62.

12. Харламов, М. Ю. Характеристики плазменного потока при плазменно-дуговом напылении покрытий [Текст] / М. Ю. Харламов, И. В. Кривцун // Металл и литье Украины. – 2009. - № 11. – С. 8-11.

13. Лашенко, Г. И. Плазменное упрочнение и напыление [Текст] / Г. И. Лашенко. – К. : Экотехнология, 2003. – 64 с.

14. Биковський, О. Г. Довідник зварника [Текст] : довідник / О. Г. Биковський, І. В. Пінковський. – К. : Техніка, 2002. – 336 с.

15. Сытников, Н. Н. Плазменная металлизация – эффективный ресурсосберегающий способ электротермического нанесения защитных покрытий [Текст] / Н. Н. Сытников, О. Г. Быковский А. Н. Кравченко // Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении. – 1998. - № 2. – С. 47-48.

16. Харламов, Ю. А. Влияние микрорельефа поверхности на прочность сцепления с газотермическими покрытиями [Текст] / Ю. А. Харламов, Ю. С. Борисов // Автоматическая сварка. – 2001. - № 6. – С. 19-26.

17. Кудинов, В. В. К оценке энергетических условий образования соединения между расплавленными частицами и поверхностью твердого тела [Текст] / В. В. Кудинов, Н. Н. Рыкалин, М. Х. Шоршоров // Физика и химия обработки материалов. – 1968. - № 4. – С. 51-58.

18. Иванов, Е. М. К энергетической оценке влияния шероховатости и толщины подложки на прочность сцепления при плазменном напылении [Текст] / Е. М. Иванов, В. В. Кудинов // Физика и химия обработки материалов. – 1983. - № 2. – С. 68-74.

19. Карпинос, Д. М. О дробеструйной подготовке поверхности плазменного напыления [Текст] / Д. М. Карпинос, В. Г. Зильберберг, А. М. Вяльцев, В. С. Кудь // Порошковая металлургия. – 1978. - № 9. – С. 25-28.

20. Плазменные покрытия [Текст]: материалы II семинара по жаростойким покрытиям, 26-28 мая 1965 г. Ленинград / редкол. : В. Е. Иванов (отв. ред.). – М. : Наука, 1967. – 225 с.

21. Голего, Н. Л. О влиянии шероховатости материала с титановой основой на прочность сцепления плазменных никелевых покрытий [Текст] / Н. Л. Голего, В. Г. Панамарчук // Физика и химия механики материалов. – 1974. – № 6. – С. 32-35.

22. Яковлев, Г. М. Влияние шероховатости поверхности на качество напыляемого слоя [Текст] / Г. М. Яковлев, А. А. Королько, В. С. Ивашко // Машиностроение и приборостроение. – 1977. – № 9. – С. 15-17.

23. Строганов, А. И. Влияние шероховатости стальной подложки на прочность сцепления с плазменным покрытием [Текст] / А. И. Строганов, А. С. Дробышевский, А. Б. Гоц // Порошковая металлургия. – 1982. - № 10. – С. 91–95.

24. Медведев, Ю. А. О влиянии шероховатости и степени наклепа на прочность сцепления плазменных покрытий [Текст] / Ю. А. Медведев, И. А. Морозов // Физика и химия обработки материалов. – 1975. - № 4. – С. 27–30.

25. Рыжов, Э. В. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин [Текст] / Э. В. Рыжов, А. Г. Суслов, В. П. Федоров // Вестник машиностроения. – 1979. - № 5. – С. 20–22.

26. Рыжов, Э. В. О прочности сцепления покрытия, наносимого напылением со стальной основой [Текст] / Э. В. Рыжов, А. Ф. Чистопьян, В. С. Харченков // Вестник машиностроения. – 1973. - № 12. – С. 32–35.

27. Heimann, R. B. Plasma Spray Coating [Text] / R. B. Heimann. – New York. : VCH Publishers, 1987. – 339 p.

28. Хренов, К. К. [Текст] / К. К. Хренов // Автоматическая сварка. – 1966. - № 1. – С. 54-59.

29. Рыкалин, Н. Н [Текст] / Н. Н. Рыкалин // Неорганические материалы. – 1966. - № 1. – С. 25-34.

30. Верстак, А. А. Особенности взаимодействия напыляемых частиц с шероховатой поверхностью основы / А. А. Верстак, И. Л. Куприянов, А. Ф. Ильюшенко // Сварочное производство. – 1987. - № 2. – С. 5-6.

31. Практическое применение сварки в промышленности [Текст]: сборник трудов XVIII Конгресса международного института сварки, 1965 г. Льеж / редкол. : А. И. Борисенко (отв. ред.). – М. : Наука, 1966. – 215 с.

32. Авдеев Н. В. [Текст] / Н. В. Авдеев // Вестник машиностроения. – 1967. - № 10. – С. 74-79.

33. Спиридонов, Н. В. Повышение газотермических покрытий активацией контактной зоны / Н. В. Спиридонов, И. О. Соковров // Вестник Полоцкого государственного университета. – 2008. - № 2. – С. 107-111.

34. Быковский, О. Г. Механизм образования, строение и микроструктура переходной зоны между напыленным слоем и подложкой / О. Г. Быковский, А. Н. Лаптева, Н. П. Пасько, Б. В. Власенко // Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении. – 2016. - № 1. – С. 19-23.

35. Быковский, О. Г. Влияние состояния поверхности твердого тела на характеристики смачивания его расплавом [Текст] / О. Г. Быковский, В. Е. Самойлов, В. Е. Ольшанецкий, А. В. Бусов, А. Н. Лаптева, Д. Я. Воронин // Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении. – 2013. - № 2. – С. 55-59.

36. Kirk, David Shot Peened Coverage Requirements [Text] / David Kirk // The Shot Peener. – 2012. - № 2. – P. 24-34.

37. Дияк, А. Ю. Перспективные методы определения степени покрытия при обработке дробью [Текст] / А. Ю. Дияк // Вестник ИрГТУ. – 2014. - № 7. – С. 12-17.

38. Paul G. Feld Method of inspecting shot peened surface for extent of coverage // United States Patent. – 1976. -№ 3,950,642. – 3 p.

39. Ortolano, R. Shot Peening in Steam Turbines [Text] / R. Ortolano, R. Kleppe, R. Chetwynd // The Shot Peener magazine. – 2005. -№ 4. – P. 23-27.

40. Дияк, А. Ю. Определение степени покрытия автоматизированным методом [Текст] / А. Ю. Дияк // Машиностроение и машиноведение. – 2015. - № 12. – С. 19-25.

41. Русев, Г. М. Влияние параметров плазменного напыления токоведущей проволокой на фракционный состав распыляемых частиц / Г. М. Русев, О. Г. Быковский, В. В. Овсянников, А. Н. Лаптева // Автоматическая сварка. – 2013. - № 1. – С. 45-47.

42. Спектор, А. Г. Структура и свойства подшипниковых сталей [Текст] : учеб. пособие / А. Г. Спектор, Б. М. Зельберт, С. А. Кисельова. – М. : Металлургия, 1984. – 264 с.

43. Ерманок, М. З. Волочение цветных металлов и сплавов [Текст] : учеб. пособие / М. З. Ерманок, Л. С. Ватрушин. – М. : Металлургия, 1988. – 288 с.

44. Пат. 45253 Україна 7. H05H1/100, 1/24, H05B7/18, B23K10/00. Електродуговий плазмотрон / Г. М. Русев, С. М. Кисельов, В. В. Овсянников, М. П. Галюк. - № 2001974789; заявл. 10.07.2001; опубл. 15.10.2003, Бюл. № 10.

45. Термическое напыление современное состояние [Текст] : материалы международного научно-практического семинара, 3-5 мая 2010 г. Сингапур / редкол. : Ю. С. Коробов (отв. ред.). – Екатеринбург. : ФГАОУ ВПО УрФУ, 2012. – 115 с.

46. Кислицин, М. И. Зарубежный опыт. Обзор мирового рынка термического напыления и тенденции развития исследований в странах ЕС [Текст] / М. И. Кислицын // Автоматическая сварка. – 2013. - № 8. – С. 59-61.

Дубл.			
Замі.			
Підл.			

Розроб.	Строгонов	<i>В. Строгонов</i>	04.12.17
Перевір.	Биковський	<i>Б. Биковський</i>	
Н. контр.	Нетребко	<i>В. Нетребко</i>	

Листів 3 Лист 1

ДКІЮ 046317.000

ДП

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

УЗГОДЖЕНО

КОМПЛЕКТ ДОКУМЕНТІВ

ЗАТВЕРДЖУЮ

На технологічний процес плазмового наплення
бандажів волочильного стану

Нормоконтролер к.т.н., доц. В.В. Нетребко

Дата 06.12.2017,

В. Нетребко

Впроваджено у виробництво

Акт № _____ Дата _____.

Зав. кафедри ОТЗВ д.т.н., проф. О.В. Овчинников

Дата 06.12.17

Комплект документів відповідає

О. Овчинников

ТД

[illegible]

Оптимизация процесса плазменного напыления токоведущей проволокой

О.Г. Быковский, д-р техн. наук, А.Н. Лаптева, Д.В. Строгонов, Н.П. Пасько, Запорожский национальный технический университет

В технологии плазменного напыления важным этапом является подготовка поверхности изделия под напыление покрытия, оказывающая значительное влияние на прочность сцепления плазменного покрытия с основой, за счет активации напыляемой поверхности и создания определенного микрорельефа на обрабатываемой поверхности. Проведены исследования поверхности образцов, подвергшихся дробеструйной обработке на протяжении определенного времени. На основе полученных экспериментальных данных построена модель, позволяющая оптимизировать процесс плазменного напыления токоведущей проволокой.

Нанесение покрытий плазменным напылением является прогрессивным технологическим процессом, который позволяет восстанавливать и упрочнять рабочие поверхности деталей машин и механизмов.

При плазменном напылении токоведущей проволокой высокая прочность сцепления покрытия с основой достигается за счет активации напыляемой поверхности, которую осуществляют дробеструйной или пескоструйной обработкой.

Изучение закономерностей образования микрорельефов (их величин) в процессе дробеструйной обработки позволяет оптимизировать процесс плазменного напыления.

В настоящее время проведено большое количество исследований в области подготовки поверхности к плазменному напылению, однако их результаты носят разрозненный характер, практически отсутствуют достаточно обоснованные требования к параметрам микрорельефа поверхности, подготовленной к напылению.

Нами проведены исследования влияния времени дробеструйной обработки на морфологию обрабатываемой поверхности и прочность сцепления плазменного покрытия с подложкой.

В ходе эксперимента на плоских необработанных пластинах из стали Ст. 3 толщиной 3 мм на протяжении определенного времени (2, 6, 12 с) с помощью модернизированной установки дробеструйной обработки КСО-130-М предприятия «Плазматех» (Запорожье) создавалась определенная шероховатость поверхности. Данная установка нагнетательного типа позволяет производить обработку на следующих режимах: при давлении сжатого воздуха $P = 0,5-0,6$ МПа, скорости чугунной колотой дроби ДЧК 15–30 м/с (номинальный размер дроби 1,6 мм).

На полученных образцах проводились исследования микрорельефа обработанных поверхностей с использованием электронного профилометра модели 170311 завода «Калибр». Полученные результаты передавались на ПК, обрабатывались в программном продукте «PowerGraph 3.3» и обобщались в виде графиков, изображений, полученных на оптическом микроскопе, профилограмм поверхностей и фрактограмм излома плазменного покрытия.

Область частых максимальных значений высоты микрорельефа поверхности, полученных во временном интервале 4–8 с, четко видна на рис. 1, а.

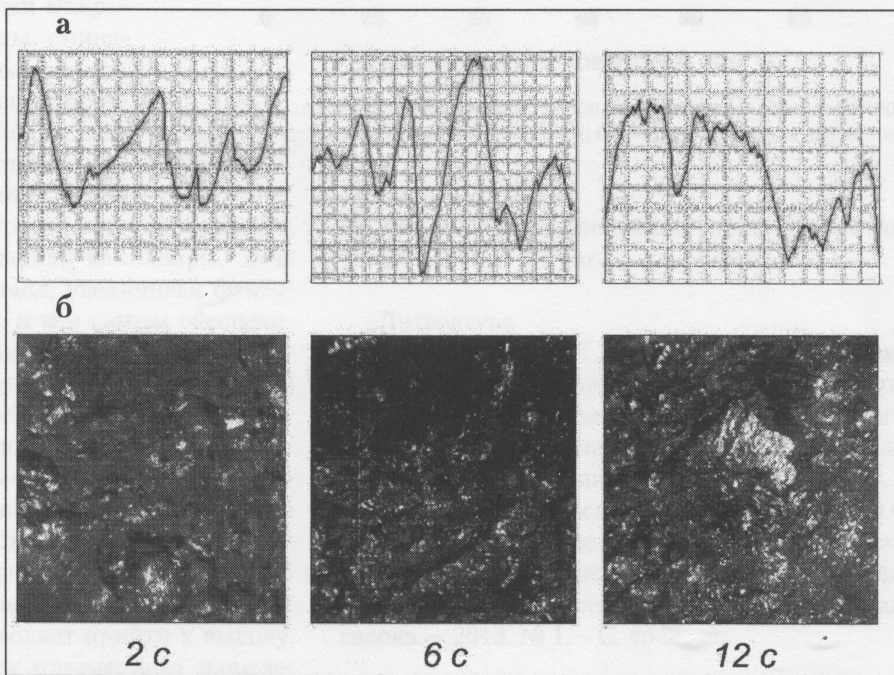


Рис. 1. Микрорельеф (а) и вид сверху поверхности (б), обработанной дробью за определенное время ($\times 50$)

При меньших значениях времени (0–4 с) максимальная высота микронеровностей имеет место только на отдельных участках, а в интервале 8–12 с происходит некоторое снижение высоты, ее стабилизация на определенном уровне.

На поверхности (вид сверху — рис. 1, б), обработанной дробью за 2 с, наряду с участками с оптимальным микрорельефом, видны места, не подвергшиеся обработке, что позволяет сделать вывод о получении недостаточной шероховатости поверхности. Оптимальный микрорельеф с равномерным распределением микровыступов и впадин на поверхности получен в период времени 4–8 с; в интервале 8–12 с происходит сминание микровыступов, а также шаржирование поверхности образца абразивными частицами.

Полученные данные хорошо согласовываются с проведенными ранее исследованиями прочности сцепления плазменного покрытия, напыленного токоведущей проволокой из бронзы БрКМц 3–1 на поверхность стали Ст. 3 (рис. 2, а).

Максимальная прочность сцепления плазменного покрытия с подложкой получена в интервале 4–8 с, когда при обработке дробью на основе создается оптимальный микрорельеф, отсутствуют следы сминания и шаржирования поверхности. Согласно данным [1], большая прочность сцепления достигается за счет лучшей смачиваемости поверхности при дробеструйной обработке, когда дробь пластически деформирует поверхность, активизирует ее, создает каналы-капилляры, куда проникает перегретый металл, увеличивая фактическую площадь контакта, и тем самым обеспечивает высокую прочность сцепления перегретых металлических частиц с основой. Ранее в работе [2] было установлено, что наибольшее количество частиц (80–90%) в плазменной струе составляют частицы размером 0,1–0,4 мм. На основе этого построена зависимость оптимального соотношения размеров распыляемых частиц и микрорельефа, которая обеспечивает наибольшую прочность покрытия, нанесенного токоведущей проволокой (рис. 3).

Изложенное выше позволяет прийти к выводу, что оптимизация процесса плазменного напыления токоведущей проволокой достигается при создании необходимой шероховатости R_z в пределах

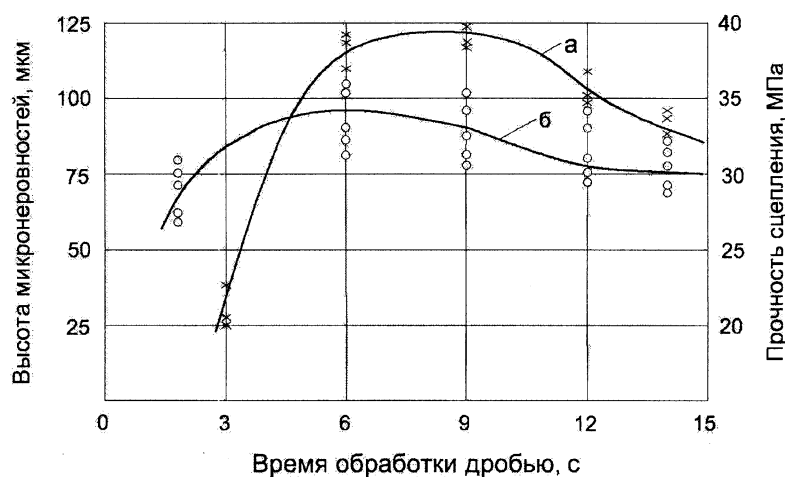


Рис. 2. Зависимость прочности сцепления с основой (а) и микрорельефа (б) от времени дробеструйной обработки при напылении бронзы БрКМц 3-1 на сталь Ст.3



Рис. 3. Оптимальное соотношение размеров распыляемых частиц и микрорельефа, которое обеспечивает наибольшую прочность сцепления плазменного покрытия

80–90 мкм, с использованием распыляемых частиц размерами 0,1–0,4 мм.

Литература

1. Быковский О. Г., Самойлов В. Е., Ольшанецкий В. Е. и др. Влияние состояния поверхности твердого тела на характеристики смачивания его расплавом // Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении. — 2013. № 2. — С. 55–59.
2. Русев Г. М., Овсянников В. В., Быковский О. Г., Лаптева А. Н. Влияние параметров режима плазменного напыления токоведущей проволокой на фракционный состав распыляемых частиц // Автомат. сварка. — 2013. № 1. — С. 4547.

Формат		Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
					Документація		
A1				ДКІЮ 046317.007 3В			
					Складальні одиниці		
Б/к		1			Джерело живлення	1	
Б/к		2			Балон з плазмоутворюючим газом	1	
Б/к		3			Патрон	1	
Б/к		4			Супорт переміщення плазмотрону	1	
Б/к		5			Панель керування плазмотроном	1	
Б/к		6			Задня бадка токарного верстату	1	
Б/к		7			Напрямна переміщення супорта	1	
Б/к		8			Катушка з порошковим дротом	1	
Б/к		9			Плазмотрон	1	
Б/к		10			Станина	1	
Б/к		11			Бандаж	1	
Б/к		12			Оснастка для наплення бандажу	1	
Б/к		13			Металеві щітки	1	
Б/к		14			Витяжна вентиляція		
				ДКІЮ 046317.007			
Зм. Арк.		№ докум.		Підп.	Дата		
Розроб.		Строганов		В.М.	01.12.08		
Перев.		Биксєв		В.М.	01.12.08		
Н.контр.		МЕТРЕБКО		В.М.	01.12.08		
Затв.		ОВЧИННИК		В.М.	01.12.08		
Установка плазмового наплення						Літ.	Аркцш
							1
						ЗНТУ каф. 0ТЗВ	
						група І Ф-412М	

Формат		Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
					Документація		
A2				DK1Ю 046317.010B3			
					Складальні одиниці		
Спроб. №	БІК	БІК	1		Склад заготівок	1	
			2		Бункер з дробом	1	
			3		Дробоструминна установка	1	
			4		Верстат для перетягування	1	
					та очищення дроту		
			5		Стелаж для оснастки	2	
			6		Складове місце бандажів,	1	
					оброблених дробом		
			7		Пожезний щит	1	
			8		Джерело живлення	1	
			9		Установка плазмозого	1	
					напилення		
			10		Місцева витяжна вентиляція	1	
			11		Стіни з матеріалу, який	1	
					легко руйнується		
12		Склад газових балонів	1				
13		Стіни з звукоізолюючого	1				
		та звукопоглинаючого мате-					
		ріалу (гіпсова акустична плитка)					
14		Склад готової продукції	1				
15		Загальноцеховий мост-	1				
		овий кран					
				DK1Ю 046317.010			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата			
Розроб.	Строгонов	01.12.17					
Перев.	Биковський	01.12.17					
Н.контр.	Немредко	01.12.17					
Затв.	Овчинников	01.12.17					
План дільниці плазмозого напилення бандажів во-					Літ.	Аркцш	Аркцшів
лощильного стану						1	1
					ЗНТУ каф. 0ТЗВ		
					група ІФ-412М		

Утверждаю
Директор
НПП «Плазматех»

Русев Г.М.

16.11.17
дата

печать



Технический акт

Мы, нижеподписавшиеся, представители ЗНТУ Быковский О.Г., Строгонов Д.В. и НПП «Плазматех» Русев Г.М. составили настоящий акт, которым подтверждается факт плазменного напыления бронзы БрКМц 3-1 на сталь при ремонте гребного винта пассажирского судна с использованием технологии и техники, разработанной вышеназванными сотрудниками кафедры ОТСП ЗНТУ и НПП «Плазматех».

Экономический эффект от внедрения технологии и техники составляет 80 тыс.грн.

Г.М. Русев

О.Г. Быковский

Д.В. Строгонов