

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Фізико-технічний, інженерно-фізичний

(повне найменування інституту, назва факультету)

Обладнання та технології зварювального виробництва

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти (освітній ступінь))

на тему: «Розробка технології плазмового напилення бандажів барабанів
волоочільних станів з проектуванням дільниці»

Виконав: студент 5 курсу, групи ІФ-319м

Спеціальності 131 Прикладна механіка,

Освітня програма (спеціалізація)

Технології та устаткування зварювання

Лексиков Владислав Олександрович

(прізвище та ініціали)

Биковський Олег Григорович

(прізвище та ініціали)

Рецензент Ершов Анатолій Васильович

(прізвище та ініціали)

2020 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет НУ «Запорізька політехніка», ІФ
 кафедра ОТЗВ
 ступінь вищої освіти магістр
 спеціальність 131 Прикладна механіка
 (код і найменування)
 освітня програма (спеціалізація) Технології та устаткування зварювання
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Овчинников

Олександр Володимирович

« 11 » 12 2020 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА

Овчинников Владислав Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема проєкту (роботи) Розробка технології плазмового напилення бандажів
робанів волочильних станів з проєстуванням дільниці

Рівник проєкту (роботи) Биковський Олег Григорович, д.т.н., професор,
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

тверджені наказом закладу вищої освіти від «30.11» 2020 року № 364

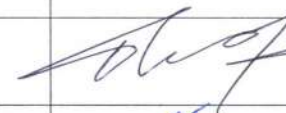
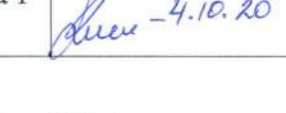
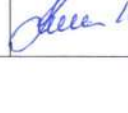
Строк подання студентом проєкту (роботи) _____

Вихідні дані до проєкту (роботи) Технологія плазмового напилення бандажів
волочильного стану зі сталі ШХ-15

Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
 зробити) Розділ 1. Призначення, конструкція і матеріал бандажного кільця; Розділ 2
утність способу плазмового напилення; Роділ 3 Технічні умови на виготовлення і
риймання деталі; Роділ 4 Технологічний процес плазмового напилення деталі; Розділ
Техніко-економічні розрахунки дільниці плазмового напилення; Розділ 6 Охорона
раці та безпека у надзвичайних ситуаціях.

Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
агальний вигляд волочильного стану, конструкція бандажного кільця, властивості
матеріалів бандажного кільця та дроту для напилення, схема плазмового напилення
струмоведучим дротом, технологічна послідовність процесу відновлення деталі,
структура та мікротвердість напиленого шару та перехідної зони, установка для
плазмового напилення, установка для бробоструминної обробки, техніко-економічні
казники, план дільниці плазмового напилення.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконав завдання
1-4	Биковський О.Г., д.т.н, професор, викладач каф. ОТЗВ		
5	Нестеров О.В., к.т.н., доцент, завідувач каф. ОПІНС		
6	Кругликова В.В., к.е.н., доцент, викладач каф. ПТБД	 -4.10.20	 -4.10.20

7. Дата видачі завдання « _____ » _____ 20 ____ року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Прізвище виконавця
1	Вступ	05.10.20	виконано
2	Призначення, конструкція і матеріал бандажного кільця	10.10.20	виконано
3	Сутність способу плазмового напилення	16.10.20	виконано
4	Технологічні умови на виготовлення і приймання деталі	22.10.20	виконано
5	Технологічний процес плазмового напилення деталі	02.11.20	виконано
6	Техніко-економічні розрахунки дільниці плазмового напилення	10.11.20	виконано
7	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	17.11.20	виконано
8	Формування висновків з магістерської роботи	18.11.20	виконано
9	Перелік джерел посилань	23.11.20	виконано
10	Оформлення магістерської роботи, нормоконтроль	28.11.20	виконано
11	Розробка доповіді до захисту	01.12.20	виконано
12	Подання роботи до захисту	08.12.20	виконано

Студент

Керівник проекту (роботи)

Лексигов В. О.

Биковський О. Г.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 102с., 30 табл., 16 рис., 1 дод., 27 джерел.

БАНДАЖНЕ КІЛЬЦЕ ТЯГНУЧОГО БАРАБАНУ, ВОЛОЧИЛЬНИЙ СТАН, ПЛАЗМОВЕ НАПИЛЕННЯ СТРУМОВЕДУЧИМ ДРОТОМ, ДРОБОСТРУМИННА ОБРОБКА, СТРУКТУРА ПЕРЕХІДНОГО ШАРУ.

Об'єктом дослідження є процес плазмового напилення струмоведучим дротом бандажних кілець тягнучих барабанів волочильного стану.

Метою роботи являється оптимізація процесу плазмового напилення та дослідження структури перехідного шару між напиленим покриттям та основою.

В роботі було виявлено оптимальні параметри режиму плазмового напилення струмоведучим дротом та досліджено структуру напиленого покриття і шару перехідної зони.

Була розроблена ефективна технологія плазмового напилення бандажів тягнучого барабану волочильного стану.

Покращена зносостійкість робочої поверхні бандажних кілець волочильного стану.

ABSTRACT

Explanatory note: 102 p., 30 table, 16 fig., 1 appendices, 27 sources.

BANDAGE RING OF PULLING DRUM , WIRE DROWING MILL,
PLASMA SPRAYING WITH A CURRENT WIRE, SHOT BLASTING,
STRUCTURE OF A TRANSMITION LAYER.

The object of study is the process of plasma spraying with a current wire of the bandage rings of pulling drums of a wire drawing mill.

The aim of the project is optimization of plasma spraying process and discovery of the transition layer between the sprayed layer and the foundation.

The paper determined the optimal plasma spraying regime parameters and discovered the structure of the sprayed layer and transition layer.

An effective technology of plasma spraying of the bandages of the wire drawing mills was developed.

Improved wear resistance of the working surface of the bandage rings of the wire drawing mill.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів	8
Вступ.....	9
1 Призначення, конструкція і матеріал бандажного кільця тягового барабану волоочильного стану	10
1.1 Умови експлуатації бандажного кільця.....	11
1.2 Механізм зносу бандажного кільця	15
1.3 Труднощі, пов'язані зі зварюваністю матеріалу і шляхи їх подолання.....	16
2 Сутність способу плазмового напилення.	18
3 Технічні умови на виготовлення і приймання деталі	26
3.1 Вимоги до кваліфікації робітників.....	26
3.2 Контроль якості електродних матеріалів	27
3.3 Загальні положення з технології підготовки поверхні бандажу до напилення, методи і обсяг контролю якості	30
3.4 Методи контролю якості покриттів.	31
4 Технологічний процес плазмового напилення деталі	33
4.1 Підготовка виробу до напилення.	33
4.2 Вибір електродних матеріалів для напилення	38
4.3 Технологія і техніка плазмового напилення струмоведучим дротом робочої поверхні бандажу.	39
4.4 Дослідження напиленого шару та перехідної зони.	45
4.5 Обладнання для здійснення процесу плазмового напилення.....	50
4.6 Контроль якості напилюваного виробу і методи усунення дефектів.....	54
5 Техніко – економічні розрахунки дільниці плазмового напилення	56

5.1	Опис ідеї проєкту	56
5.2	Організація ділянки плазмового наплавлення струмоведучим дротом....	58
5.3	Виробнича програма та її матеріальне забезпечення	62
5.4	Розрахунок кількості обладнання та площі ділянки	63
5.5	Розрахунок чисельності персоналу ділянки.....	65
5.6	Фонд оплати праці	71
5.7	Собівартість виробу	73
5.9	Розрахунок економічного ефекту	79
6	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	83
6.1	Аналіз потенційних небезпек	83
6.2	Заходи по забезпеченню безпеки	85
6.3	Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці	89
6.4	Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	92
	Висновки	95
	Перелік джерел посилання	97
	Додаток А Маршрутна карта.....	100

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

К – кельвін;

% - відсоток;

м – метр;

мм – міліметр;

Па – паскаль;

HRC – твердість за Роквелом;

HB – твердість за Брінелем;

кг – кілограм;

хв – хвилина;

л – літр;

с – секунда;

А – ампер;

В – вольт;

Вт – ватт;

ВСТУП

В сучасних умовах переходу до ринкової економіки все більше зростає необхідність орієнтації підприємств на підвищення якості і конкурентоспроможності продукції, так як без цих ключових умов неможливо досягти високої економічної ефективності виробництва.

Затребуваними товарами на світовому ринку металопродукції є різні види дроту. Одним з важливих і найбільш трудомістких етапів виробництва – процес волочіння дроту. Як інструмент для протягування дроту використовується волока. Найбільш поширеними матеріалами для виготовлення волочильного інструменту є тверді сплави на основі карбиду вольфраму.

Витрата волочильного інструменту досить великий, тому якість волок багато в чому визначає економічні показники волочіння і властивості дроту. Зношені або пошкоджені волокни мають дефекти, які можуть бути ключем до проблем процесу волочіння.

Таким чином, виконання вимог щодо підвищення продуктивності волочильних станів, зниження собівартості продукції, що випускається і забезпечення високої якості протягується дроту нерозривно пов'язане з проблемою стійкості волочильного інструменту [1].

1 ПРИЗНАЧЕННЯ, КОНСТРУКЦІЯ І МАТЕРІАЛ БАНДАЖНОГО КІЛЬЦЯ ТЯГОВОГО БАРАБАНА ВОЛОЧИЛЬНОГО СТАНУ

Бандажне кільце (рис. 1.1) – це механічна частина для волочильних машин. Волочильні бандажні кільця застосовуються в тягових барабанах волочильних станів (рис. 1.2) [2] для виготовлення дроту з кольорових і чорних металів, методами грубого, сухого і мокрого волочіння.

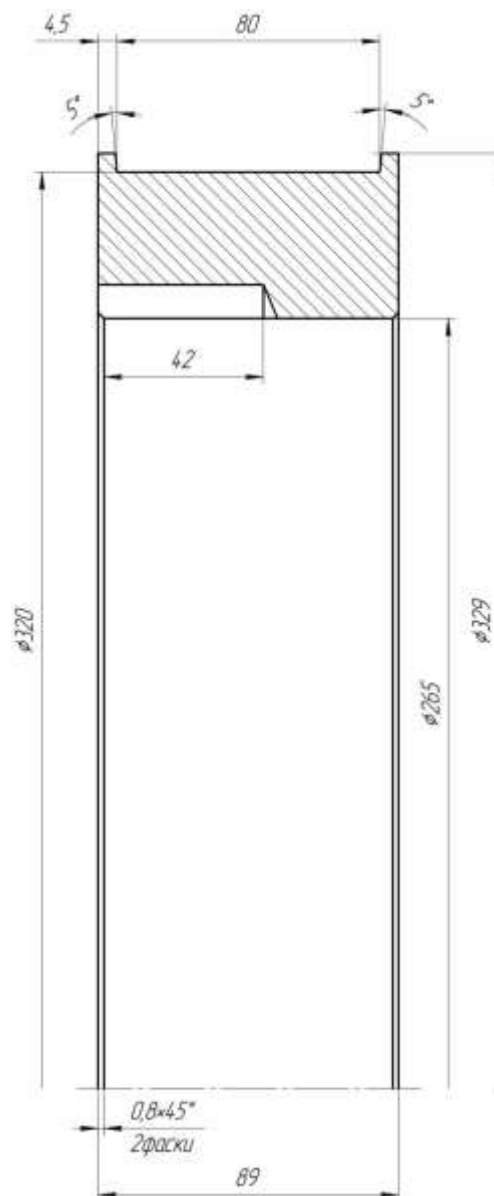


Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд бандажного кільця

Матеріалом для виготовлення кільця служить сталь ШХ15. Хімічний склад і механічні властивості сталі ШХ15 представлені в (табл. 1.1 і табл. 1.2) відповідно.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі ШХ15 згідно DIN EN ISO 683-17-2015, % по масі

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Fe
0,95 – 1,05	0,17 – 0,37	0,20 – 0,40	≤0,02	≤0,027	1,30 – 1,65	≤0,30	≤0,25	Основа

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі ШХ15 згідно DIN EN ISO 683-17-2015

Межа плинності σ_T , МПа	Межа міцності σ_B , МПа	Відносне подовження δ , %	Ударна в'язкість КСУ, кДж/м ²	Твердість НВ
370 – 410	590 – 730	20	440	207

1.1 Умови експлуатації бандажного кільця

Тяговий барабан, є одним з головних елементів волочильного стану. Для здійснення процесу волочіння поверхня барабана повинна бути гладкою і твердою що б дріт мав можливість ковзати по барабану, а нижній виток міг виштовхувати вгору по поверхні барабана накопичені витки.

Стани багаторазового волочіння являють собою обладнання, на якому заготівля простягається через кілька волок. Робиться це з метою збільшення витяжки оброблюваного матеріалу. Волоки розташовані одна за одною

послідовно. Для того щоб заготовка краще проходила скрізь волокни виконують попередній відпал металу, що сприяє підвищенню її пластичних характеристик. Також після відпалу використовують молот або кувальні валки для загострення кінця заготовки [2].

Багаторазові стани поділяються на:

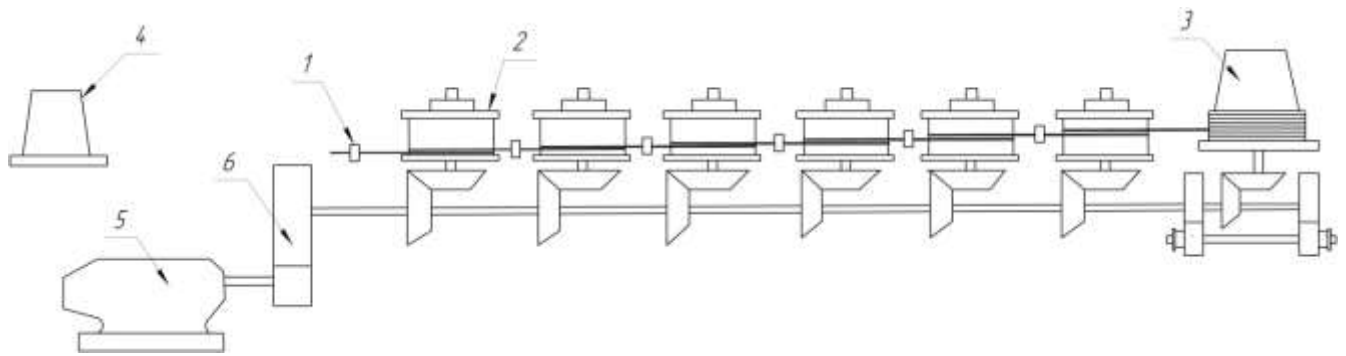
- багаторазові стани з функцією ковзання;
- багаторазові стани без функції ковзання.

Для визначення кратності волочіння (сумарна кількість протяжок) істотне значення мають розміри оброблюваного матеріалу, його перетин, заданий розмір кінцевого продукту і його механічні властивості. Зазвичай кратність встановлюють в межах від 2 до 25, але можна встановити і більше.

Чим міцніше матеріал, тим складніше він протягується. Щоб усунути нестачу натягу за останньою волокою, після кожної волоки використовують тяговий барабан. Тяговий барабан обертається, матеріал що протягується намотується на барабан, і переходить до наступної волоки.

Лінія багаторазового волочіння, зображена на (рис. 1.2), складається з семи волок 1, послідовно розташованих один за одним, і семи барабанів 2. Дріт для волочіння надівається на фігурку 4 (не приводний). Всі сім барабанів є тяговими. Привід 5 і редуктор 6 приводять в рух кожен барабан, встановлений для кожної волоки для протягування дроту. На кожен барабан 2 намотуються по кілька витків дроту. У режимі роботи кожен оборот барабана відповідає намотуванню одного витка. При цьому зверху змотується один виток. Ось так забезпечується постійне число витків на барабані. Дріт в якості готового продукту намотується на барабан 3.

В процесі функціонування стану його волокни природним чином зношуються. Можлива неточність при виготовленні волок. Обидва аспекти можуть викликати невідповідність між окружною швидкістю барабанів і швидкістю руху при протягуванні дроту між волокнами. Так само зношуються поверхні тягнучих барабанів, за рахунок тертя з дротом.



1 – волока; 2 – тягнучий барабан; 3 – барабан; 4 – фігурка;

5 – привід стану; 6 – редуктор.

Рисунок 1.2 – Багаторазовий волочильний стан

Може статися, що швидкість при протягуванні буде на якесь значення більше окружної швидкості проміжного барабана. Барабан буде не в змозі створювати тягове зусилля. У зв'язку з цим на станах даного типу, з функцією ковзання, окружну швидкість внутрішніх барабанів вибирають на 4 % більше швидкості дроту при виході її з волоків. Завдяки цій різниці щодо швидкостей барабанів, крім останнього барабана, дріт прослизає. Це визначає назву волочильного стану «стан з ковзанням» [3].

Ковзання дроту по барабанах викликає їх знос. Для його зменшення волочильні барабани зазвичай працюють в мильній емульсії, одночасно охолоджуючої барабани і волокни. Проте, на подолання сил тертя втрачається приблизно від 30 % до 40% потужності приводу волочильних станів. Зовнішній вигляд зношеного бандажного кільця представлений на рис. 1.3 а величина зносу на рис. 1.4.



Рисунок 1.3 – Зношена робоча поверхня бандажного кільця

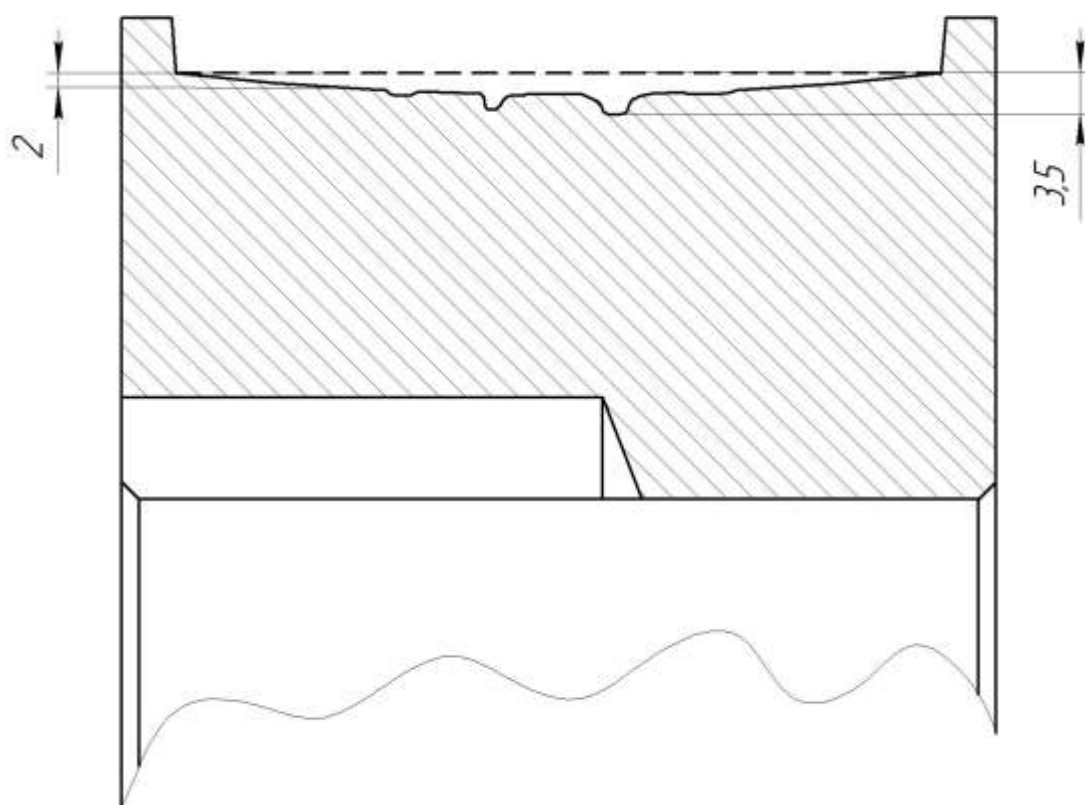


Рисунок 1.4 – Величина зносу бандажного кільця

1.2 Механізм зносу бандажного кільця

Процес зношування деталі, що працює в сполученні з іншою деталлю, відбувається у кілька етапів.

Перший етап (самий короткочасний), так званий період приробітку, полягає в знищенні гребінців на поверхні деталі, що утворилися при її механічній обробці.

Далі відбувається зношення, що характеризується відносною постійністю умов роботи тертя. Цей період можна назвати періодом нормального зносу, періодом основної роботи деталі, і він триває до тих пір, поки збільшуються зазори, які в сполученні не викликають порушення роботи деталі. З цього моменту починається прискорене і наростаюче зношення, яке може викликати аварію машини. Щоб не довести машину до такого стану, зношені деталі слід замінити до того, як настане період прискореного зносу.

В основному, нерівності на поверхні однієї деталі видаляють матеріал з поверхні другої деталі, якщо ці дві деталі знаходяться в ковзаючому контакті. Наскільки швидше одна частина викликає знос другої частини, залежить від співвідношення енергії. Таким чином, незважаючи на те, що матеріал бандажного кільця набагато твердіше дроту, що піддається волочінню, проте воно, буде зношуватися в процесі волочіння дроту. Абразивний знос, на відміну від інших видів зносу і руйнування, повинен вважатися звичайним і неминучим. Однак, його можна знизити до мінімуму, приділяючи більше уваги умовам волочіння. Абразивний знос бандажного кільця можна визначити по подряпинам, які тягнуться по всій довжині робочої зони в напрямку волочіння дроту. Якщо поява таких подряпин викликано звичайним зносом, вони можуть бути дуже маленькими і непомітними, побачити їх можна тільки при великому збільшенні. Фактично, поверхня буде здаватися відполірованою, хоча і дещо неправильної форми, якщо розглядати її при невеликому збільшенні. Однак, подряпини, викликані забрудненням мастила або дефектами поверхні

дроту, зазвичай бувають більшого розміру і їх легко можна побачити. Тому, якщо борозенки на бандажному кільці можна розглянути в оптичний мікроскоп при збільшенні $\times 30$ - $\times 60$, необхідно перевірити якість мастила і поверхню дроту - заготовки.

Ще одна причина виникнення борозенок пов'язана з перегрівом. Такий перегрів часто виникає, коли волока працює при недостатньому змеченні мастилом. Такі борозенки зазвичай досить великі і численні. Це призводить до швидкого руйнування бандажного кільця. Багато оксидів металів мають абразивні властивості. Тому брудне мастило, окислений дріт або включення на поверхні дроту можуть значно збільшити абразивне зношення і, таким чином, скоротити термін служби кільця. Оскільки стирання відбувається, коли деталі вступають в контакт один з одним, на нього може зробити істотний вплив міцність мастильної плівки і її взаємодія з цими поверхнями. Це означає, що правильний вибір мастила і правильна експлуатація її, грають виключно важливу роль в зниженні абразивного зношення.

Зі сказаного вище випливає, що навіть при нормальній експлуатації волочильного стану відбувається поступове зношення окремих деталей вузлів стану. Тому, з метою зниження швидкості процесу зношення, необхідно використовувати комплекс заходів і методів по зміцненню поверхонь, підвищенню зносостійкості тертьових поверхонь швидкозношуваних деталей [4].

1.3 Труднощі, пов'язані зі зварюваністю матеріалу і шляхи їх подолання

Під зварюваністю матеріалів розуміється комплексна технологічна характеристика металу або сплаву, яка відображає їх реакцію на процес зварювання і показує придатність даного матеріалу для отримання надійного зварного з'єднання.

Легуючі елементи роблять істотний вплив на показники зварюваності сталей. Збільшення вмісту елементів, що підвищують гартування, супроводжується зниженням опору зварних з'єднань утворенню холодних тріщин. Елементи, зміцнюючі твердий розчин, сприяють, як правило, зниженню ударної в'язкості металу в зоні термічного впливу зварних з'єднань [5].

Марка сталі ШХ15 має незвичайний склад, який і визначає особливі експлуатаційні характеристики. Велика концентрація вуглецю визначає підвищену твердість структури. Показник концентрації вуглецю становить від 0,95 % до 1%, завдяки чому при зварюванні або наплавленні цієї сталі є велика можливість утворення холодних і гарячих тріщин та складніше забезпечити рівномірність наплавленого шару, тому ця сталь не зварюється методами зварювання плавленням.

Виходячи з цього для відновлення і зміцнення поверхні бандажного колеса тягового барабана був обраний спосіб плазмового напилення.

Плазмове напилення в порівнянні з газополуменевим напиленням і електродуговою металізацією має ряд переваг:

- дозволяє наносити покриття з матеріалів широкого складу (метали, сплави, оксиди, карбіди, нітриди, бори́ди, пластмаси та їх різні композиції) на різноманітний матеріал основи (метали, кераміка, графіт, пластмаси та ін.);
- плазмотрони дозволяють в широких межах регулювати енергетичні характеристики плазми, що полегшує отримання покриттів з властивостями, зумовленими вимогами технології;
- використання в плазмових пальниках інертних газів і сумішей, що не містять кисню, сприяє зменшенню окислення напилюваного матеріалу і поверхні деталі;
- покриття, отримані плазмовим напиленням, за фізико-механічними властивостями перевершують покриття, отримані газополуменевими і дуговим способами напилення.

2 СУТНІСТЬ СПОСОБУ ПЛАЗМОВОГО НАПИЛЕННЯ

Процес плазмового напилення заснований на нагріванні матеріалу до рідкого або пластичного стану, переносу його за допомогою високотемпературного плазмового струменя у напрямку до основи, удару та деформації розпорошених частинок на поверхні основи та подальшого утворення шару покриття внаслідок фізико-хімічної взаємодії.

Низькотемпературний плазмовий струмінь широко використовується як джерело нагрівання, розпилення та прискорення частинок при напиленні покриттів. Для плазмового покриття використовуються генератори плазмової дуги - плазмотрон, в якому електрична енергія за допомогою газового розряду перетворюється в теплову та кінетичну енергію газу.

На осі електричної дуги, яка горить вільно, температура досягає від 5000 ° К до 7000 ° К, а середня температура не перевищує 3000 ° К. Складність підвищення температури дуги полягає в тому, що при збільшенні вихідної потужності, перетин дугової колони збільшується, її опір зменшується, а щільність струму має тенденцію залишатися постійною. Якщо електричну дугу пропустити через охолоджене сопло і одночасно продути газом, дуга стискається і на краю електричного розряду відбувається інтенсивний теплообмін і деіонізація. Примусове охолодження газу спричиняє термічне стиснення дугового стовпа (ефект теплового защемлення), що в свою чергу збільшує стискаючу дію 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 до 20 тис. °К (рис. 2.1) [6].

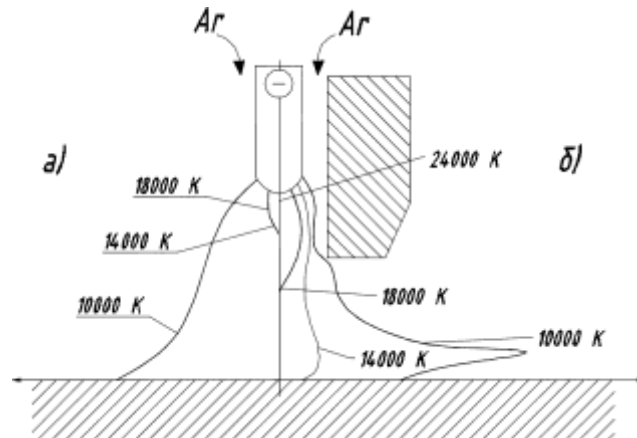


Рисунок 2.1 – Схема розподілу температури у вільній (а) та плазмовій (б) дугах

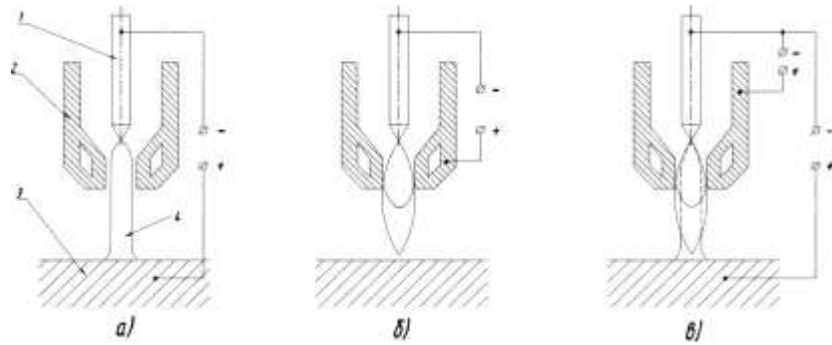
Плазма - іонізований газ, у якому концентрація позитивно і негативно заряджених часток майже однакова, а хаотичний рух часток переважає над впорядкованим рухом їх в електричному полі.

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 м/с до 600 м/с (згідно зарубіжних даних – до 1000 м/с), відносна простота отримання [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.

Відомі три типи дугових плазмотронів - з дугою прямої дії, побічної дії і комбінованою дугою (рис. 2.2).



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

Рисунок 2.2 – Типи дугових плазмотронів

У усіх у них один з електродів - стержень з тугоплавким наконечником з вольфраму W, цирконію Zr, гафнію Hf та ін. Зазвичай це катод. Катод і анод електрично ізольовані і охолоджуються водою або повітрям. Дуга між катодом (стрижнем) і анодом (соплом) проходить через сопло під тиском газу, що подається у вихлопну камеру. Точка контакту дуги з анодом - точка анода - рухається вздовж внутрішньої стінки каналу сопла, а колона дуги стабілізується уздовж осі електрода і сопла. Значна частина газу, яку називають плазмоутворюючим, утворює сильно нагрітий іонізований струмінь плазми.

Газовий шар, що омиває дуговий стовп, відносно холодний і забезпечує його електричну та теплову ізоляцію від стінок витяжної камери і, головне, захищає форсунку від руйнування. Цей зовнішній шар газу змушує дугу стискатися, оскільки щільність струму в плазмотронах досягає $100 \text{ A} / \text{мм}^2$, що на порядок перевищує щільність струму вільної дуги при атмосферному тиску. Виходячи з сопла, потік іонізованого газу трохи розширюється, тобто сопла нагадує діафрагму, яка притягує струмінь плазми. Це призводить до осьового градієнта тиску власного магнітного поля дуги, виходячи із струменя плазми, що збільшує її швидкість, до значень, що в кілька разів перевищують швидкість звуку.

У плазмотронах із «залежною» дугою (прямої дії) анод – оброблюваний виріб (рис. 2.2, а). Сопло є електрично нейтральним і служить для стиснення та стабілізації дугового стовпа. Пряме збудження дуги між катодом і виробом через вузький канал сопла важко реалізувати, тому спочатку збуджується допоміжна дуга між катодом і соплом, яка живиться від того самого джерела живлення через струмообмежувальний резистор, а потім як в результаті іонізації робочої дуги (дуга між катодом і виробом), допоміжна загасає.

У плазмотронах з «незалежною» дугою (побічної дії) тепла енергія до виробу передається лише струменем плазми, що нагрівається стовпом дуги (рис. 2.2, 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 витратами: один-плазмоутворюючий, а інший – захисний.

Характеристики струменя плазми значною мірою визначаються газом, який утворює плазму. Використовуються одноатомні інертні гази - аргон Ar , гелій He , двоатомні – азот N_2 , водень H_2 , кисень O_2 та багатоатомний – вуглекислий газ CO_2 , аміак NH_3 та інші. Плазма двом – та багатоатомних газів містить більше тепла, оскільки процес рекомбінації молекул у них відбувається за нижчих температур. На ентальпію потоку плазми сильно впливає витрата газу, який утворює плазму. Зі збільшенням площі поверхні розряду зменшується за рахунок зменшення діаметра колони провідника. Це зменшує інтенсивність тепловіддачі потоку газу і, отже, його теплоємність.

Також для утворення плазмового струменя може бути використано суміші різних газів. Підбором можна створити будь-яке середовище плазмового струменя – окислювальне, відновне або нейтральне.

Матеріал, що розпилюється (дріт, стрижні) в плазмовому струмені, нагрівається, розплавляється, розпилюється, а сформований потік частинок спрямовується до основи. При ударі та деформації частинки взаємодіють з поверхнею підкладки та утворюють покриття.

Повне розплавлення напилюваного матеріалу спостерігається при плазмовому розпиленні дроту або стрижнів. Додатково інтенсифікувати нагрів дроту або стрижнів з електропровідного матеріалу можна поданням на них напруги за схемою дріт-відкритий анод (рис. 1.3) [8].

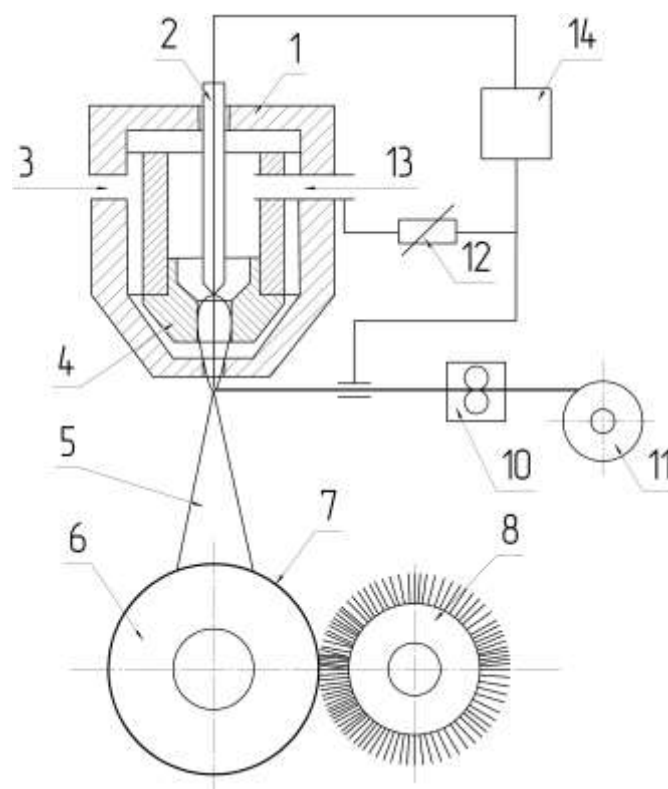


Рисунок 2.3 - Схема процесу плазмового напилення струмоведучим дротом

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, адопоміжна - 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.

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 [9].

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 [10]:

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, бориди, нітриди, силіциди і інші з'єднання, властивості яких змінюються під впливом окислювального середовища при високих температурах;

4. Висока швидкість і температура плазмового потоку дозволяють отримувати більш високу щільність покриттів (малу пористість) при кращому зчепленні з підкладкою;

5. Плазмові покриття можна наносити на дерево, кераміку, бетон пластмаси, легкоплавкі метали і сплави, оскільки поверхня оброблюваного матеріалу нагрівається не вище 200 °С;

6. Температуру і тепломісткість плазмового потоку можна регулювати в широких межах, залежно від вимог технології;

7. Висока продуктивність процесу плазмового напилення, порівняно з іншими методами нанесення покриттів (табл. 2.1) [10].

Недоліками способу є:

1. Невисокі значення коефіцієнта використання енергії: 0,02 – 0,18 при напиленні дротових 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 від 115 дБ до 125дБ), виділення унавколишнє середовище аерозолів тугоплавких матеріалів, інтенсивне світлове, ультрафіолетове та інфрачервоне випромінювання (інтенсивність інфрачервоної радіації на відстані 0,5 м від плазмового розпилювача складає $(6 - 25) \cdot 1025 \text{ Вт/м}^2$).

3. Висока вартість устаткування і великі експлуатаційні витрати.

Таблиця 2.1 – 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

3 ТЕХНІЧНІ УМОВИ НА ВИГОТОВЛЕННЯ І ПРИЙМАННЯ ДЕТАЛІ

3.1 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.

3.2 Контроль якості електродних матеріалів

Контроль якості порошкового дроту ПП- 100X15H2Г2Р для плазмового напилення здійснюється на основі технічних умов:

1. Діаметр дроту та його граничні відхилення повинні відповідати вказаним у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – 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 риси і сліди волоочильного 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.

1. 4Хімічний склад і його граничні відхилення приведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Хімічний склад порошкового дроту

Марка дроту	Масова доля елементів, %								
	C	Cr	Mn	Ni	B	Si	Інші	S	P
								Не біл- ьш	Не біл- ьш
ПП-100X15H2-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

4. 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 катушок;
- масу нетто дроту в кілограмах;
- штамп технічного контролю;
- дату виготовлення.

5. Для перевірки якості порошкового дроту від партії відбирають:

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

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

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

8. 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 катушки;

- 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

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

$$K_3 = \frac{m - m_{об}}{m} \cdot 100 \%,$$

де m – маса зразка, $m_{об}$ – маса оболонки.

9. Твердість напиленого покриття визначають за методом Роквелла (ГОСТ 9013 – 59) або методом Брінелля (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 ДСТУ ISO 14175 – 2010:

За фізико-хімічними показниками газоподібний аргон повинен відповідати нормам, вказаним в таблиці. 3.3.[5]

Таблиця 3.3 – Норми по чистоті аргону

Мінімальна чистота, %	Точка роси при тиску 0,101 МПа, °С	Об'ємна частка водяної пари, ppm, не більше
99,9	-50	40

1. Газообразний аргон приймають партіями. Партією вважають будь-яку кількість продукту, однорідну за показниками якості і оформлену 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.

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

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

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

1. Перед напиленням поверхню бандажу піддають дробострумінній 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 $R_z = 80 - 90$ мкм згідно з ГОСТ 2789 – 73.

3. 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.

3.4 Методи контролю якості покриттів

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. Візуальний контроль напилених виробів виконують з метою визначення місць покриття зі слідами відшаровування, розтріскування та ін., які слід усувати згідно з даними таблиці. 3.4.

2. Вимірювальний контроль напиленого виробу проводять для перевірки:

- товщини напиленого покриття;
- твердості нанесеного покриття.

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

4. При вимірювальному 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.

4 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ПЛАЗМОВОГО НАПИЛЕННЯ ДЕТАЛІ

4.1 Підготовка виробу до напилення

Підготовка виробу до напилення плазмового покриття здійснюється в три етапи:

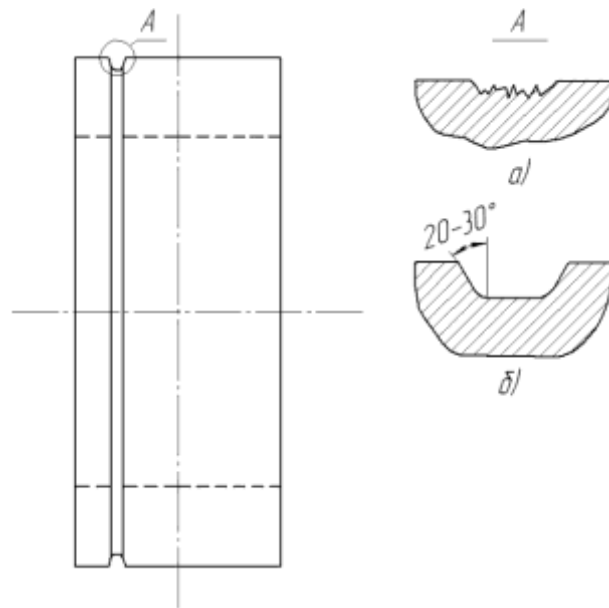
1. Термічна обробка виробу;
2. Проточка дефектних ділянок поверхні;
3. Дробоструминна обробка.

Для зняття напружень і зменшення твердості бандажу виготовленого із загартованої підшипникової сталі ШХ-15 для подальшої проточки дефектних ділянок поверхні бандажу і її дробоструминної обробки застосовують термічну обробку - відпуск. Режим відпуску вказаний в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Режим відпуску бандажу зі сталі ШХ-15

Тривалість відпуску, год	Твердість, HRC	
	При кімнатній температурі $T = 23^{\circ}\text{C}$	При температурі відпуску $T = 250^{\circ}\text{C}$
3	65	52

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 (сколи і тріщини в покритті, прорізи, 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. 4.1.

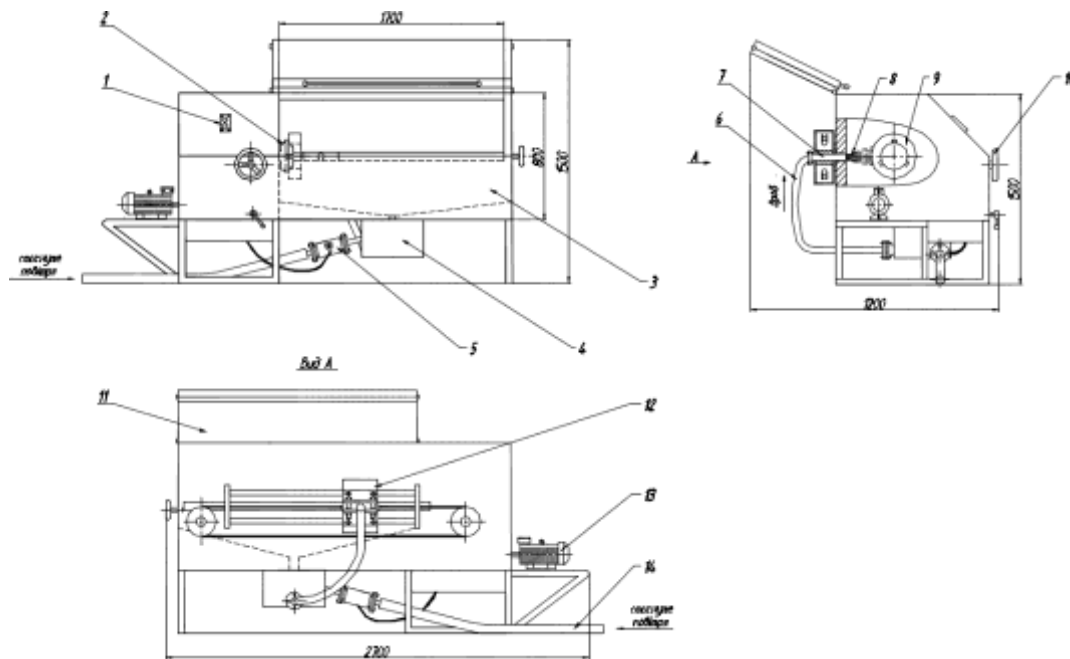


а – дефект (прорізь, скол або тріщина); б – обробка дефектної ділянки

Рисунок 4.1 - Схема обробки дефектної ділянки

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

Для дробиструминної обробки використовується установка КСВ-130-М (рис. 4.2). Дана установка нагнітаючого типу дозволяє проводити обробку на наступних режимах: при тиску стисненого повітря P від 0,5 МПа до 0,6 МПа, швидкості чавунного колотого дробу ДЧК від 20 м/с до 25 м/с з номінальним розміром дробу $d = 1,6$ мм, питомій витраті дробу b від 6,5 кг/хв до 7,5 кг/хв, відстані від сопла до оброблюваної поверхні $L = 200$ мм та куті обробки $\alpha = 90^\circ$.

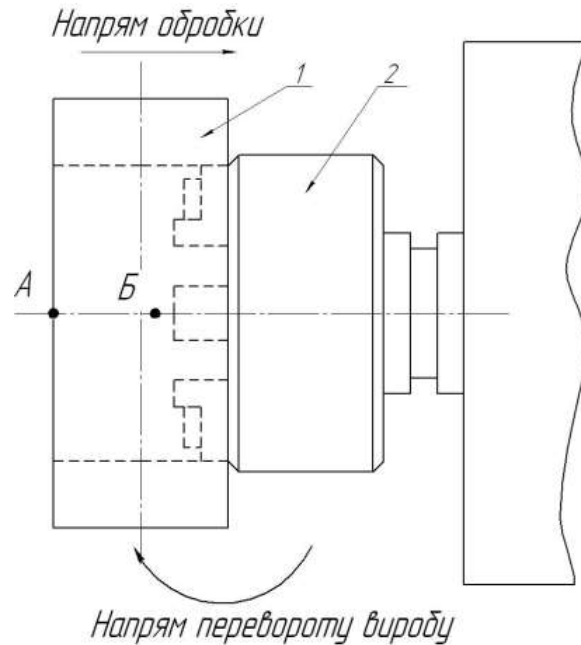


Умовні позначення:

- 1 – пульт керування подачі 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 4.2 - Установка для дробоструминної обробки

Деталь 1 закріплюється у centruючому трикулачковому патроні 2. Потім до краю деталі в положення А згідно схеми (рис. 4.3) підводиться сопло.



1 – деталь; 2 – патрон

Рисунок 4.3 – 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, перемістивши сопло в положення Б. Обробку здійснювати згідно з режимом, зазначеним в таблиці 4.2.

Слід зазначити, що час дробиструминної обробки впливає на міцність з'єднання плазмового покриття з підложкою. Авторами роботи [11] було проведено дослідження впливу часу дробиструминної обробки на морфологію оброблюваної поверхні та міцність з'єднання плазмового покриття з підложкою.

При малих значеннях часу (від 0с до 4с) максимальна висота мікронерівностей спостерігається на незначній площі поверхні оброблюваного зразка, що свідчить про недостатню шорсткість для напилення. Оптимальний мікрорельєф з рівномірним розподілом мікровиступів і впадин на поверхні був отриманий в інтервалі від 4 с до 8 с, також при цьому інтервалі часу обробки була отримана максимальна міцність счеплення плазмового покриття та основного металу зразка. В інтервалі від 8 с 12 с виникає зминання мікровиступів, а також шаржування поверхні зразка абразивними частками [11], що також свідчить про незадовільну шорсткість поверхні для напилення. Тому було прийнято рішення виконувати дробоструминну обробку в інтервалі від 4 с 8 с.

Таблиця 4.2 – Режим дробоструминної обробки

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

Потім деталь знімають з установки, перевертають у зворотному напрямі (згідно схеми, рис. 4.3) 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 4 год.

4.2 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-100X15H2Г2Р діаметром $d = 1,6$ мм (таблиця. 4.3.).

Таблиця 4.3 – Характеристики напилюваного дроту

Марка дроту	Тип напилюваного матеріалу	Діаметр, мм	Середня твердість HRC		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 валів суден);

Використання цієї марки дроту для плазмового напилення 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.

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

4.3 Технологія і техніка плазмового напилення струмоведучим дротом робочої поверхні бандажу

Розпилення плазми з струмопровідним дротом може виконуватися в широкому діапазоні технологічних параметрів залежно від конструкції плазмотрона. зміна параметрів впливає на фракційний склад напилюваних частинок і ступінь їх окислення, кількість теплоти, що передається ними, температуру основи (детлаі), термічний цикл покриття, його міцність, щільність і продуктивність процес.

Важливими параметрами плазмотрона, що впливають на режим плазмового напилення, є заглиблення катода і відстань катод-анод, що визначають напругу на дузі.

Встановлено, [12] що при зміні заглиблення катода від 0 мм до 1,5 мм напруга на дузі зростає від 60 В до 66 В при струмі 170 А і від 59 В до 63 В при струмі 160 А. Продуктивність розпилення становить 1 г/с при струмі 170 А і 0,8 г/с 0,84 г/с при струмі 160 А, а угар становить відповідно від 18 % до. 22% і від 15 % до 20%. А при зміні відстані катод-анод від 8 мм до 14 мм напруга на дузі зростає від 54 В до 69 В при струмі 170 А і від 52 В до 67 В при струмі 160 А.

Продуктивність розпилення зростає від 0,83 г/с до 1 г/с при струмі 170 А, для струму 160 А цей показник дещо нижчий і лежить в межах від 0,74 г/с до 0,94 г/с, втрати металу на угар вище при струмі 170 А (від 16 % до 22 %), а при струмі 160 А вони досягають від 15 % до 16 %. Фракційний склад змінюється мало і знаходиться в тих же межах, що і для заглиблення катода. За результатами випробувань прийнято, що для струмів від 160 А до 170 А заглиблення катода має становити 0,5 мм, а відстань катод-анод рекомендовано вибирати в межах від 9 мм до 11 мм, при цьому зберігається висока стабільність процесу.

При цих параметрах досліджували вплив зварювального струму, який змінювався в межах від 120 А до 220 А. Встановлено, що в міру збільшення зварювального струму продуктивність і втрати на угар зростають відповідно від 0,6 г/с до 1,15 г/с і від 8 % до 14%. Твердість напиленого шару на зразок-свідок знижується з НВ 278 до НВ 222, що може бути пов'язано з підвищенням вигоранням вуглецю і легуючих елементів. Фракційний склад напилених частинок змінюється в ту чи іншу сторону, при цьому вміст фракції розміром 0,315 мм має тенденцію до зниження, хоча вона залишається основною.

При візуальному спостереженні плазмового потоку було помічено, що частинки рухаються з різною швидкістю в центрі і на периферії, що, очевидно, пов'язано з їх різною масою. Для дослідження цього явища використовували чотири скляних судини, наповнених водою. Судини діаметром 40 мм, 65 мм, 90 мм і 250 мм були вставлені один в інший. Відстань від плазмотрона до рівня поверхні води складало 320 мм, а зварювальний струм змінювали від 120 А до 200 А. Встановлено, що маса фракцій в центральній частині з підвищенням струму зростає від 16 г до 24 г, а в периферійній частині істотно зростає від 22 г до 35 г.

Це свідчить про переважне перенесення напилюваного матеріалу периферійною частиною плазмового потоку. Фракційний склад частинок також змінюється по перетину плазмового потоку. Так, вміст великих часток 0,2 мм в центрі становить від 33 % до 37 %, а на периферії знижується до від 17 % до.

24 %. Фракції розміром 0,315 мм; 0,16 мм; 0,1 мм складають 15 % – 18 % в центрі потоку, а на периферії їх зміст знижується до 11 % – 14%. З підвищенням струму кількість фракції 0,1 мм при 0,16 мм збільшується до 18 % – 25%, а при 0,315 мм знижується до 8 % – 10 %. великі фракції 0,4 мм, фракції менше 0,1 мм і пил складають від 1% до 6% в центрі потоку і від 6 % до 9% на периферії. З підвищенням зварювального струму утримання великих фракцій дещо знижується, а дрібних зростає від 20 % до 23 %.

Маса перенесених часток істотно залежить від витрати плазмоутворюючого і транспортуючого газів. Ступінь окислення розпиленних частинок, їх швидкість і фокусування, напруга також будуть залежати від витрати цих газів.

Дослідження проводили на струмах від 160 А до 170 А, причому спочатку змінювали витрату повітря при постійній витраті аргону, а потім витрату аргону при незмінній витраті повітря.

При збільшенні витрати повітря напруга зростає від 60 В до 64 В, при цьому продуктивність досягає максимуму 0,9 г / с.

При збільшенні витрати повітря в межах від 12 м³/год до 22,5 м³/год фракційний склад частинок змінюється мало. При витраті повітря менш 12,5 м³/год відбувається підвищене нагрівання сопла, що може призвести до його швидкого виходу зладу.

Оптимальна витрата повітря була прийнята в інтервалі від 15 м³/год до 17 м³/год. При збільшенні витрати аргону від 15 л/хв до 37,5 л/хв продуктивність процесу зростає від 0,82 г/с до 1,02 г/с, причому при витраті аргону 30 л/хв знижується до 0,73 г/с ($Q_{Ar} = 37,5$ л/хв при струмі 160 А). при зварювальному струмі 170 А продуктивність зростає з 0,96 г/с до 1,09 г/с при витраті аргону 20 л/хв, після чого знижується до 0,85 г/с при витраті аргону 37,5 л/хв.

Помічено, що при витраті аргону менш 30 л/хв має місце більш інтенсивний нагрів сопла і підвищена витрата вольфрамового електрода, що вплинула на визначення оптимальної витрати аргону 30 л/хв. Стабільність плазмового процесу виявилася вищою при зварювальному струмі 170 А.

Фракційний склад частинок практично не змінюється (див. таблицю). Продуктивність при цьому становить від 0,98 г/с до 1,0 г/с.

Оскільки при плазмовому напиленні частинки розігріваються до температур, які значно перевищують температуру плавлення, а їх рух відбувається в аргонно-повітряному середовищі, вони безперервно взаємодіють з киснем і азотом повітря, в результаті чого склад вихідного матеріалу, нанесеного на підкладку, змінюється. Ступінь взаємодії металу з газовим середовищем в значній мірі буде залежати від дистанції напилювання.

Дистанцію напилення змінювали в межах від 40 мм до 150 мм, інші параметри режиму плазмового напилення були постійними: діаметр електрода 1,2 мм, зварювальний струм 170 А, напруга на дузі 65 В, витрата аргону 30 л/хв, витрата повітря 16,5 м³/год.

Встановлено, що найбільша міцність покриття, яка була виміряна методом штифтової проби, досягнута на дистанції напилювання від 90 мм до 100 мм і склала 80 МПа при товщині покриття 0,5 мм. При цьому вміст елементів в поверхневому шарі дорівнював, від 0,4% до 0,43% С, від 0,7 % до 0,77 % Мп, 0,17 % Si, решта – Fe. Твердість покриття склала від НВ 220 до НВ 240, а пористість напиленого шару перебувала в межах від 1 % до 2 % [12].

Виходячи з все переліченого були вибрані параметри режиму плазмового напилення, які наведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Параметри режиму плазмового напилення

Параметр	Значення
Рід струму, полярність	Постійний струм, пряма полярність
Діаметр дроту, мм	1,6
Сила струму, А	200-210
Швидкість подачі дроту, м/год	350
Напруга, В	70-80
Швидкість напилення, м/хв	0,2
Дистанція напилення, мм	90...100
Величина заглиблення катода, мм	1
Кут від осі плазмотрону до напилюваної поверхні, град	70...90
Витрата робочого газу, м ³ /год	1,8(Ar)
Витрати транспортуючого газу, м ³ /год	16,5(повітря)

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

Потім використовуючи значення, зазначені в таблиці 4.4 виконують налаштування установки для напилення:

1. Направляють вісь плазмотрона під кутом 70-90° по відношенню до осі напилюваної деталі, виставляють дистанцію напилення.
2. Встановлюють катушку 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 та напруги U .

5. Встановлюють швидкість обертання деталі V 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 транспортуючого гозу (повітря), кий потрібен для 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.

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 4.5 – 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 $T_{общ}$, хв
4,5	0,1	19	45	14

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

4.4 Дослідження напиленого шару та перехідної зони

Одним з найбільш широко застосовуваних методів дослідження металів є металографічний аналіз. Перевага цього методу полягає не тільки в простоті проведення досліджень, доступності і відносній нескладності використовуваного обладнання, а й в цінності інформації, отриманої при прямому вивченні макро- і мікроструктури.

Напилений шар крім між зернових і міжфазних границь має також ще три їх різновиди: між деформованими частинками, між напиленими шарами, а також між напиленим покриттям і основним металом. Всі типи шарів визначають когезійну і адгезійну міцність напилюваного покриття.

Дослідження структури шару перехідної зони між покриттям і основним матеріалом має деякі труднощі. Вони в першу чергу пов'язані з тим, що для проведення дослідження різнойменних за складом основи і покриття матеріалів необхідно застосовувати розділене травлення основи та напиленого шару. В той же час через відсутність досліджень перехідного шару неможливо достовірно обрати правильний хімічний склад розчину для травлення прошарку. При цьому ж розмір перехідного шару зазвичай не великий, внаслідок чого важко отримати достовірну інформацію про структуру приграничних шарів.

Після проведення операції напилення на зразки, було виконане механічне оброблення свідків в вигляді розрізання навпіл. В результаті, методом

візуального огляду за допомогою лупи було обрано один зріз, для подальшого проведення досліджень.

Для забезпечення правильної обробки поверхні зразку, він був зафіксований в спеціальній пристрій для механічного оброблення – струбцинку. Вона дозволяє отримати абсолютно паралельну поверхню при механічному обробленні без завалювання кутів, що позитивно позначиться на дослідженні поверхні за допомогою оптичних приладів – мікроскопів.

Вивчення структури зразка неможливе без підготовки на його поверхні гладкої площадки, яку називають шліфом [13]. Площину шліфа виготовляють механічною обробкою для отримання практично дзеркальної поверхні без шорсткості, заглибин, виступів.

Механічна обробка включає в себе кілька етапів оброблення поверхні зразків. Оброблення починається з шліфування поверхні абразивним папером крупного зерна. При шліфуванні змінюють напрям руху зразка відносно паперу на 90 градусів, що дає змогу рівномірно оброблювати всю поверхню шліфа. Потім поступово переходять до менш крупного зерна абразиву, тим самим досягають поступового вигладжування поверхні.

Для грубого механічного оброблення шліфуванням використовувався абразивний папір марок зерна 100, 150, 250, 320. Чистове шліфування було проведене на абразивному папері марок 400, 800, 2000. Після шліфування проведена операція полірування поверхні. Ціллю операції є досягнення дзеркальної поверхні шліфа навіть під мікроскопом без рисок. Полірування виконували на фетрі, застосовуючи полірувальну пасту типу гоє. При операції полірування є обов'язковим поворот деталі на 90 градусів при кожному новому прикладенні зусилля.

Операція хімічного оброблення – це важливий етап металографічних досліджень металічних зразків. Вона являє собою метод хімічного оброблення поверхні досліджуваної деталі спеціальними хімічними розчинами лугів та кислот, які в процесі взаємодії з шліфованою поверхнею деталей частково роз'їдають окремі ділянки поверхні шліфа. Завдяки цьому, стає можливим

побачити під оптичним мікроскопом структуру, форму і розмір зерен металу, виявити дефекти і несучільності, яких не було б видно на дзеркальній поверхні шліфа після полірування.

Специфіка проведення хімічного оброблення різнорідної пари металів полягає у тому, що один і той же хімічний розчин чинить різну дію на матеріали досліджуваної пари. Тому для отримання достовірних результатів слід дуже ретельно підходити до вибору хімічного складу розчину для травлення зразків, а саме забезпечення умови поступового травлення поверхні як основи, так і напиленого шару без руйнування перехідної зони.

При виборі хімічного складу розчинів для травлення зразків був проведений літературний огляд та обрані базові хімічні складові для травлення матеріалу основи і напиленого матеріалу. Серед великої номенклатури хімічних розчинів із [14] були обрано певний хімічний склад і інструкцію з травлення до нього.

Також для підбору оптимального режиму травлення зразок був умовно поділений на 5 зон підряд вздовж зразка, кожна з яких була хімічно оброблена при зміні тривалості травлення, для забезпечення оптимального режиму хімічного оброблення поверхні зразків.

Хімічні складові наведені в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Складові розчину для травлення зразка [14]

Металічна пара	Хімічний розчин
Ст.3 + Сплав 100X15H10Г2Р	45 мл HCl, 5 г CuCl ₂ , 1 г пікринової кислоти, 50 мл дистильованої води, 200 мл етилового спирту

Також наводимо детальну інструкцію з травлення зразка:

Ст.3 + Сплав 100 X15H10Г2Р:

Розчин Матвеева: Готують 2 розчини: розчин А і розчин Б. Розчин А являє собою 1г пікринової кислоти, 4 мл HCl розчинені в 100 мл етилового спирту. Розчин Б складається з 40 мл HCl у 25 мл етилового спирту і 30 мл дистильованої води, з розчиненими у ньому 5 г CuCl₂.

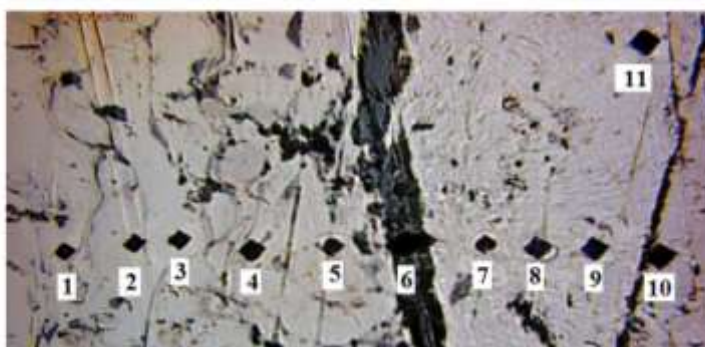
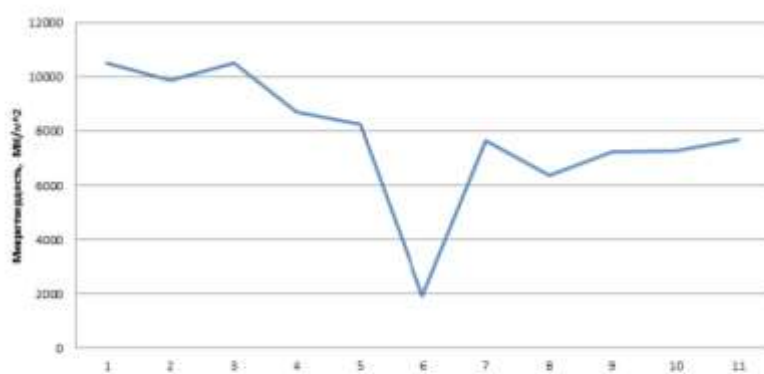
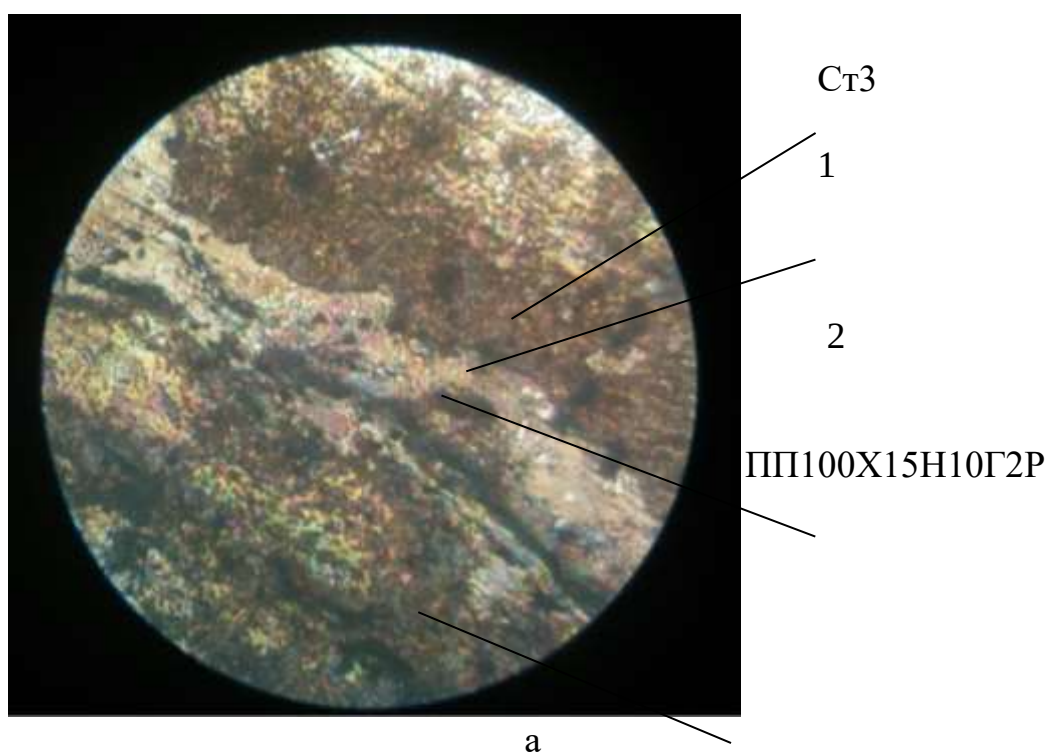
Спочатку проводимо багаторазове травлення зразка в розчині А з витримкою по 60 с з промивкою в проточній воді і переполіруванням після кожного етапу травлення. Потім проводимо травлення тривалістю від 3 с до 5 с в розчині Б з наступним негайним промиванням етиловим спиртом.

Після операції травлення необхідно переконатися в відсутності їдких та шкідливих хімічних речовин на поверхні кожного зразка. При необхідності провести повторну операцію промивки. Обов'язковою також є операція сушки поверхні зразків після травлення стисненим сухим повітрям.

Для визначення мікротвердості окремих структурних складових отриманого шліфу використовувався мікротвердомір ПМТ – 3.

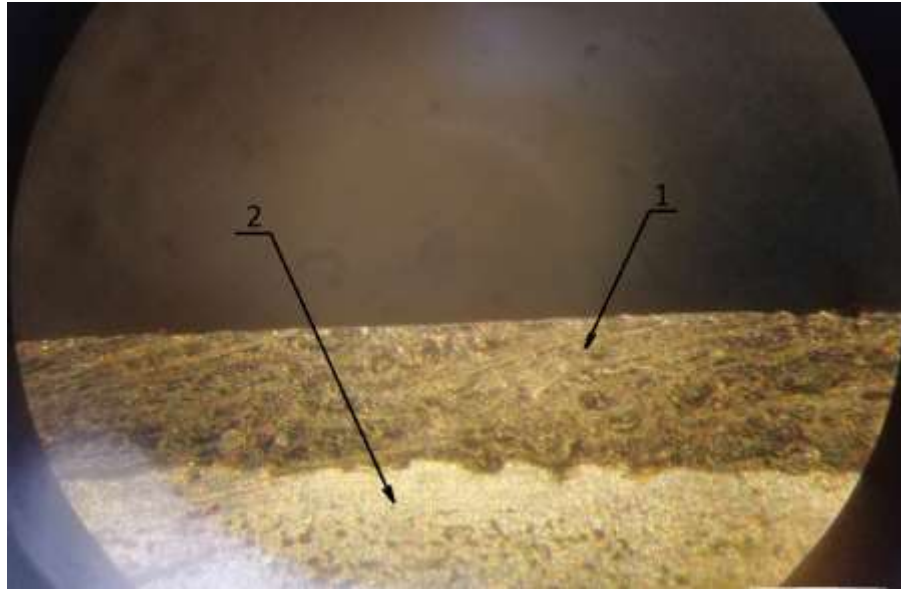
Напилений псевдосплав має характерною шарову або зернисту будову, що визначається температурою, швидкістю, агрегатним станом, складом і масою матеріалу. При цьому межі між нанесеними шарами або зернами, тріщини і пори мають різні розміри. Особливо важливим є межфазна міцність на кордоні розподілу основа-напилений шар, при недостатній величині якої захисні властивості покриття будуть втрачені від впливу зовнішнього середовища. У разі спільної основи, наприклад при напиленні на сталь Ст3 порошковим дротом ПП-100Х15Н10Г2Р межа розподілу 1 представляє тонку лінію, на якій чітко видно оплавлені вершини початкової шорсткості (рисунк. 4.4, а). Нижче границі з'єднання є окремі темні ділянки 2, вочевидь, нерозплавленої повністю шихти, про що свідчить різке падіння мікротвердості (рисунк. 4.4, б).

Хімічний склад цієї марки 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 ніж у сталі ШХ-15 (62 64) HRC, проте мікротвердість зміцнюючих фаз знаходиться в діапазоні від 15 ГПа 22 ГПа, що значно вище за мікротвердість основи зі сталі ШХ - 15 (приблизно 9 ГПа).



б

Рисунок 4.4 - Структура зони з'єднання, напиленого порошковим дротом ПП-100X15H10Г2Р на сталь Ст3 (а, $\times 660$) і зміна мікротвердості в зоні 2 (б, $\times 440$).



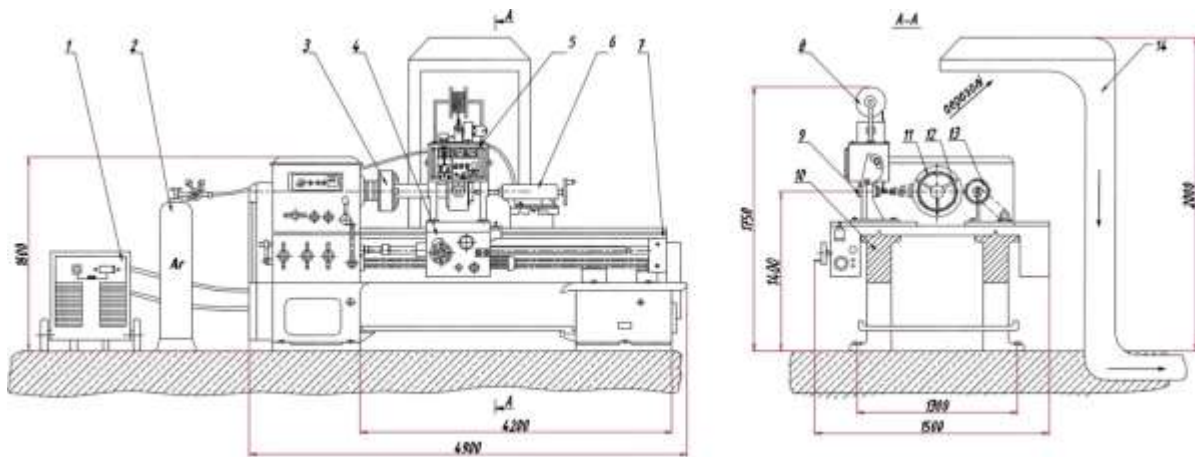
1 - ПП-100Х15Н10Г2Р , 2 -сталь Ст3.

Рисунок 4.5 – Структура зони з'єднання, напиленого шару ($\times 50$)

4.5 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. 4.6).

Установка забезпечує обертання виробу зі швидкістю від 0,1 об/хв до 6 об/хв і переміщення плазмотрона уздовж осі виробу зі швидкістю від 0,2 м/хв до 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 4.6 – 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 В 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. 4.7) підприємства «Плазматех» м.Запоріжжя [15], який забезпечує надійне фокусування плазмової струмینی і, як наслідок, підвищення коефіцієнта використання матеріалу, який напилюють, зменшення зносу внутрішнього та зовнішнього сопел і підвищення ступеня використання енергії плазмової струмینی.

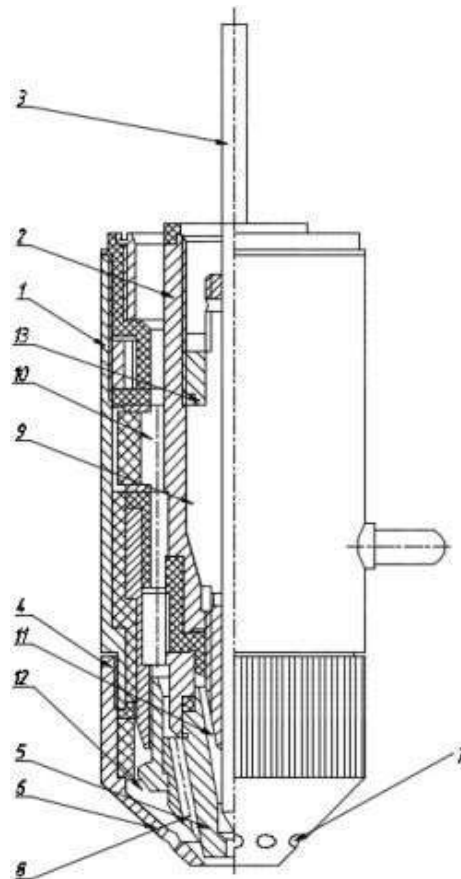


Рисунок 4.7 – Електродуговий плазмотрон

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 від 8° до 14° 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 від 8° до 14° та виконання отворів на відстані від нижнього торця зовнішнього сопла 4, яка дорівнює від 0,2 до 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.

4.6 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 різновисхідність покриття (вище за допустиму). Причини утворення цих дефектів і способи їх усунення приведені в табл. 4.7.

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 вимірвальний 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 від 54 HRC до 57 HRC.

Таблиця 4.7 – Можливі дефекти плазмового способу нанесення покриттів та методи їх усунення

Дефект	Причини	Способи усунення
Відшаровування напилюваного шару	Неправильно підготовлена конфігурація напилюваної дільниці, 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 дільниці 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.
Різнотовщинність покриття (вище за допустиму)	Нерівномірне переміщення плазмового струменя відносно поверхні напилювання	Брак неусувний. Відрегулювати роботу системи переміщення плазмотрону і виробу.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ ДІЛЬНИЦІ ПЛАЗМОВОГО НАПИЛЕННЯ

5.1 Опис ідеї проєкту

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 від 5 % до 7 %, в Індії від 15 % до 17 %, в Китаї від 20 %

Таблиця 5.1 – Опис ідеї

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для споживачів (користувачів)
Плазмове відновлення брандажних кілець тягнучих барабанів волоочильних станів	Машинобудування	Нанесення зносотійкого шару, за рахунок чого підвищений термін служби деталі

В межах завдання було проаналізовано характеристику потенційного ринку, яку відображено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Попередня характеристика потенційного ринку

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Головні конкуренти	FAST ENERGY GRC
2	Динаміка ринку (якісна оцінка)	зростає
3	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Програє за якістю продукції
4	Специфічні вимоги до стандартизації та специфікації	Відповідність ISO 9001 на виробництво багатифункціональних покриттів методами газотермічного напилення

Після аналізу характеристики потенційного ринку можна побачити головних конкурентів, дати якісну оцінку розвитку динаміки ринку, а також вияснити які можуть бути обмеження чи вимоги до стандартизації.

Було побудовано карту стейкхолдерів, яка дозволить візуалізувати картину взаємозв'язків стейкхолдерів. На рисунку 5.1 зображена карта стейкхолдерів.



Рисунок 5.1 – Карта стейкхолдерів

На карті стейкхолдерів відображено взаємозв'язок стейкхолдерів. Залежні зацікавлені сторони формально ініціатору проєкту не підлеглі, проте тісні ділові стосунки потребують на пошук взаємовигідних рішень та компромісів. На периферії ж знаходяться зовнішні зацікавлені сторони. Це область стейкхолдерів опосередкованого впливу на успішність реалізації інноваційного проєкту [16].

5.2 Організація дільниці плазмового наплавлення струмоведучим дротом

У даному розділі дипломного проєкту необхідно надати технічне нормування операцій, виробничу програму і її матеріальне забезпечення. Розрахувати ефективний (дійсний) фонд часу роботи обладнання, необхідну кількість обладнання та чисельність персоналу дільниці [16].

Нормування операції дробоструминної обробки здійснюється згідно наступного співвідношення:

$$T_{\text{др.об}} = t_{\text{осн}} + t_1 \cdot k = 1 + 7 \cdot 1,13 = 9 \text{ хв} = 0,15 \text{ год.}, \quad (5.1)$$

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:

$$t_{\text{осн}} = \frac{\delta_{\text{банд}}}{\delta_{\text{сопла}}} \cdot 8 = \frac{80}{10} \cdot 8 = 64 \text{ с} = 1 \text{ хв} = 0,017 \text{ год.}, \quad (5.2)$$

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:

$$T_{\text{напил}} = t_{\text{осн}} + t_1 \cdot k = 17 + 4,5 \cdot 1,13 = 22 \text{ хв} = 0,366 \text{ год.}, \quad (5.3)$$

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) [16].

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 напилюваного покриття 4,5 мм складаємо рівняння пропорції:

згідно наступного співвідношення:

$$\frac{\delta_{\text{банд}}}{\delta_{\text{сопла}}} = \frac{m_{\text{банд}}}{m_{\text{покр}}}, \quad (5.4)$$

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 $G_{\text{н}}$:

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

$$V_{\text{пд}} = 350 \text{ м/ч};$$

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

$$\psi = 0,85$$

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

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

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

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

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

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

Знаючи продуктивність процесу $G_{\text{нап}}$ за 1 годину (60 хв) та масу напилюваного 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-заключні операції:

$$t_{\text{пз}} = (t_{\text{отр}} + t_{\text{озн}} + t_{\text{одерж}} + t_{\text{нал}} + t_{\text{зд}}) = 23 \text{ хв} = 0,380 \text{ год.}, \quad (5.5)$$

До підготовчо-заключного часу відносяться витрати робочого часу на виконання наступних операцій[16]:

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) задачу виконаної роботи, пристосувань, інструментів, технічної документації і вбирання робочого місця, $t_{зд}$ 6 хв.

Норми часу на технологічний процес відновлення бандажів плазмовим напиленням представлені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3- 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

5.3 Виробнича програма та її матеріальне забезпечення

У даному дипломному проєкті приймаємо виробничу програму процесу відновлення бандажів плазмовим напиленням рівною 7500 деталей.
(див. табл. 5.4)

Таблиця 5.4 – Виробнича програма на рік

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

5.4 Розрахунок кількості обладнання та площі ділянки

Підприємство на якому розташована ділянка 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 [16]:

$$F_{\text{до}} = F_{\text{ном}} \cdot (1 - K_{\text{в}}) = 4160 \cdot (1 - 0,1) = 3745 \text{ год.}, \quad (5.6)$$

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:

$$G_0 = \sum_{i=0}^m \cdot \frac{t_i \cdot N_i}{F_{\text{до}}}, \text{ од.}, \quad (5.7)$$

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.;

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

Прийнята кількість обладнання встановлюється шляхом округлення до цілої величини (G_{po}).

Коефіцієнт завантаженості обладнання:

$$K_3 = \frac{G_0}{G_{po}}, \quad (5.8)$$

де G_0 – прийнята кількість обладнання, од.

Розраховуємо кількість установок для напилення:

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

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

Розраховуємо коефіцієнт завантаженості обладнання:

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

Розраховуємо кількість установок дробоструминної обробки:

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

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

Розраховуємо коефіцієнт завантаженості обладнання:

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

Всі розрахунки по обладнанню зведені у таблицю 5.5.

Таблиця 5.5 – Розрахунок кількості обладнання, його потужності і собівартості

Найменування устаткування	Кількість обладнання		Коеф. завантаження	Потужність, кВт
	Розраховано	Прийнято		
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

5.5 Розрахунок чисельності персоналу ділничі

Чисельність основних виробничих робітників ділничі на нормованих роботах розраховується за операціями, розрядами і професіями [16]:

$$R_0 = \frac{\sum_{i=1}^m t_i \cdot N_i}{F_{д.р} \cdot K_{в.н.}}, \text{чол.}, \quad (5.9)$$

де R_0 – чисельність основних виробничих обітників,чол.; m – кількість видів робіт;

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

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

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

Дійсний річний фонд часу одного робітника визначається за формулою:

$$F_{\text{др}} = F_{\text{норм}} \cdot (1 - h), \text{ год.}, \quad (5.10)$$

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

$$F_{\text{др}} = 2800 \cdot (1 - 0,13) = 1810 \text{ год.}$$

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 кожен змін).

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 дільниці викладена в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – 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

Вартість основних і комплектуючих матеріалів розраховується на основі норм використання і цін. Крім того необхідно врахувати транспортно-заготівельні витрати (5-7% від вартості матеріалів) [16].

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

Таблиця 5.7 – 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-100Х15Н2Г2Р	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 5.8 – 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

Вартість основних засобів передбачає наступні розрахунки [16] :

- Вартість будівель визначається на основі розрахованої площі та вартості 1 м² будівель (1000 грн за м²);
 - Вартість споруд становить 5 % вартості будівель;
 - Вартість обладнання (наведена у табл. 6.9 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. 5.9.

Таблиця 5.9 – Основні фонди дільниці їх структури і амортизаційні відрахування

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. 5.10.

Таблиця 5.10 – Вартість основних засобів

Найменування основних засобів	Балансова вартість, грн	Структура, %	Строк експлуатації, р.	Річні амортизаційні відрахування, грн
Будівлі	90000	7,3	40	2250
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	916250	100	-	65700

5.6 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 [16].

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 розрахуємо за формулою:

$$З_{\text{відр}} = N \sum_{i=1}^B P_i, \quad (5.11)$$

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:

$$P_i = C_i \cdot t_i, \quad (5.12)$$

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

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

Розрахунок за операціями наведено в таблиці 5.11.

Таблиця 5.11 – Розрахунок розцінок по операціям

Найменування операції	Норма часу, н/годин	Розряд робіт	Годинна тарифна ставка, грн	Розцінок, грн.
Дробоструминна обробка	0,151	5	55,25	29,11
Плазмове напилення	0,366	6	57,25	30,17
Усього	0,527	-	-	59,28

Розраховуємо основний тарифний фонд заробітної плати основних робітників-відрядників.

$$З_{\text{відр}} = 7500 \cdot 59,28 = 444600 \text{ грн}$$

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

$$З_{\text{погод}} = C_i \cdot K_{\text{тар.сер.}} \cdot F_{\text{др}} \cdot R_{\text{доп}}, \quad (5.13)$$

де C_i – годинна тарифна ставка 1-го розряду;

$F_{\text{др}}$ – дійсний річний фонд часу робітника, год;

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

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

$$З_{\text{погод}} = 35 \cdot 1,51 \cdot 1810 \cdot 5 = 478\,293 \text{ грн}$$

Визначаємо середній тарифний коефіцієнт:

$$K_{\text{тар.сер.}} = \frac{\sum_{i=1}^m K_i R_{\text{доп.і}}}{R_{\text{доп}}} \quad (5.14)$$

де m – кількість розрядів робіт допоміжних робітників;

K_i – тарифний коефіцієнт i -того розряду;

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

$$K_{\text{тар.сер}} = \frac{1.35 \cdot 1 \cdot + 1,5 \cdot 2 + 1,6 \cdot 2}{5} = 1,510$$

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

Фонд оплати праці приведено у табл. 5.12.

Таблиця 5.12 – 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	39860	222300	666900
Допоміжні робітники	5	39858	239146	717400
Керівники	1	8500	4250	153000
Спеціалісти	1	8000	4000	144000
Усього	11	96218	11500	1681300

5.7 Собівартість виробу

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

До складу прямих витрат входять [16]:

1. Основні матеріали – 3772000 грн;

2. Купівельні комплектуючі вироби і напівфабрикати – 61000 грн;
3. Основна заробітна плата основних робітників – 478 293 грн;
4. Додаткова заробітна плата основних робітників – 222300 грн;
5. Відрахування на соціальне страхування від фонду оплати праці основних виробничих робітників 22% – 146718 грн;
6. Енергія на технологічні цілі – 241900 грн.

До складу непрямих витрат входять:

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

$$E_s = C \cdot F_{до} \cdot W \cdot K_z \cdot K_s = 2,68 \cdot 3745 \cdot 120 \cdot 0,54 \cdot 0,8 = 520297 \text{ грн}, \quad (5.15)$$

де C – ціна за 1 кВт електроенергії, грн;

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

W – потужність всього устаткування дільниці, кВт/год;

K_z – коефіцієнт завантаження обладнання;

K_s – коефіцієнт попиту, який враховує витрати електроенергії в мережі

2. Річний фонд оплати праці допоміжних робітників – 478 293 грн, відрахування на соціальні заходи – 157828 грн.

3. Поточний ремонт обладнання та дорогокоштовних інструментів – 38750 грн.

$$775000 \cdot 0,05 + 2500 \cdot 0,05 = 38875$$

4. Амортизація дорогокоштовного обладнання та інструментів – 61000 грн.

$$52500 + 8500 = 61000$$

5. Відтворювання малоцінних та швидкозношуваних предметів – 8000
 $(800000 \cdot 0,02) \cdot 0,5 = 8000$ грн

6. Інші витрати – 86729 грн.

$$0,05 \cdot (520297 + 478\,293 + 636121 + 38875 + 61000) = 86729$$

Таблиця 5.13 – Кошторис витрат на утримання та експлуатацію обладнання

Найменування статей витрат	Сума, грн
1. Утримання обладнання та робочих місць	520297
2. Заробітна плата додаткових робочих і відрахування на соціальні заходи	636121
3. Поточний ремонт обладнання і дорогокоштовних інструментів	38875
4. Амортизація виробничого обладнання та дорогокоштовних інструментів	61000
5. Відтворювання малоцінних і швидкозношуваних предметів	8000
6. Інші витрати	86729
Усього	1351022

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

Розрахуємо відсоток витрат на утримання та експлуатацію:

$$L = \frac{\sum \text{ВУО}}{\text{ЗП}_0} \cdot 100\% = \frac{1351022}{956616} \cdot 100\% = 141\%, \quad (5.16)$$

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:

$$\text{ВУ} = \frac{L}{100} \cdot \text{З}_{oi} = \frac{141}{100} \cdot 59,28 = 84 \text{ грн.}, \quad (5.17)$$

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 – 297000 грн та відрахування на соціальні заходи – 65340грн.

2.Утримання помешкань та інвентарю:

- вартість освітлювальної електричної енергії:

$$E_{os} = \frac{C \cdot q \cdot S \cdot F_{os}}{1000} = \frac{2,68 \cdot 20 \cdot 90 \cdot 2000}{1000} = 9648 \text{ грн.}, \quad (5.18)$$

де C – вартість електроенергії, грн.;

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

S – площа ділянки, м ;

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

вартість води на побутові нужди:

$$S_{пн} = S_v \cdot Q_v = 7 \cdot 1800 = 12600 \text{ грн.},$$

де S_v – вартість 1 м^3 води, грн;

Q_v – річна потреба у воді, м^3 ;

$S_{по}$ – вартість пари на опалення:

$$S_{по} = \frac{S_{пар} \cdot V \cdot H \cdot q}{i \cdot 500} = \frac{35 \cdot 570 \cdot 4320 \cdot 20}{540 \cdot 500} = 6400 \text{ грн.}, \quad (5.20)$$

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 – 2200 грн.

6. Витрати на охорону праці – 2200 грн.

7. Інші витрати – 5800 грн.

Таблиця 5.14 – Кошторис загальновиробничих витрат

Найменування статей витрат	Сума, грн
1. Утримання цехового персоналу	297000
2. Утримання помешкань та інвентарю	28648
3. Поточний ремонт помешкань та інвентарю	1800
4. Амортизаційні відрахування будівель та інвентарю	2250
5. Витрати на проведення випробувань, досліджень, раціоналізації та винахідництво	2200
6. Витрати на охорону праці	2200
7. Інші витрати	5800
Усього	339898

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

Розрахуємо процент загальновиробничих витрат:

$$\beta = \frac{\sum ЗВВ}{ЗП_0} = \frac{339898}{956616} 100\% = 35,5\% \quad (5.21)$$

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

$$ЗВВ_i = \frac{\beta}{100} \cdot З_{oi} = \frac{35,5}{100} 59,28 = 21 \text{ грн.}, \quad (5.22)$$

Собівартість одиниці продукції розраховується на основі складання

калькуляції собівартості продукції (табл. 5.15).

Таблиця 5.15 – 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	478 293	59,28
4. Додаткова заробітна плата основних робітників	239160	59,28
5. Відрахування на соціальні заходи	146718	19,56
6. Електроенергія на технологічні цілі	9648	1,3
7. Утримання та експлуатація машин і обладнання	1351022	180,1
8. Загальновиробничі витрати	339898	45,3
9. Собівартість виробнича	5425900	723,4
10. Адміністративні витрати	432000	57,6
11. Собівартість повна	11993639	1600

Таблиця 5.16 – Калькуляція собівартості продукції за старою технологією

Статті витрат	Витрати	
	всього витрат, грн	на одиницю, грн
1. Основні матеріали	3810000	508,0
2. Куплені комплектуючі та напівфабрикати	65500	8,7
3. Основна заробітна плата основних робітників	294600	39,1
4. Додаткова заробітна плата основних робітників	147300	39,1
5. Відрахування на соціальні заходи	97218	12,96
6. Електроенергія на технологічні цілі	8506	1,1
7. Утримання та експлуатація машин і обладнання	1489423	198,6
8. Загальновиробничі витрати	398747	53,2
9. Собівартість виробнича	5834600	777,9
10. Адміністративні витрати	421900	56,3
11. Собівартість повна	12302554	1640

5.9 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. [17] Показник зведених витрат:

$$З = C_i + E_n \cdot K_i, \quad (5.23)$$

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

$$Z_{\text{стар.техн.}} = 12302554 + 0,15 \cdot 1489423 = 12525967 \text{ грн.}$$

$$Z_{\text{нов.техн.}} = 11993639 + 0,15 \cdot 1351022 = 12169292 \text{ грн.}$$

Економічний ефект E за розрахунковий рік:

$$E = Z_1 - Z_2 = Z_{\text{стар.техн.}} - Z_{\text{нов.техн.}} = 12525967 - 12169292 = 356675 \text{ грн.}, \quad (5.24)$$

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, м^2 ;

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:

$$ПП = \frac{C_p - C_{мп}}{\sum K} = \frac{11993639 - 3510000}{11} = 771239 \frac{\text{грн}}{\text{осіб} \cdot \text{рік}} \quad (5.25)$$

де C_p – повна собівартість виробів за рік, грн.;

$C_{мп}$ - вартість напівфабрикатів і матеріалів

K – чисельність персоналу ділянки, осіб

8) Фондовіддача:

$$f = \frac{C_{\Pi} - C_{МП}}{\Phi_{\text{осн}}} = \frac{11993639 - 3510000}{916250} = 9,25 \frac{\text{грн}}{\text{грн}}, \quad (5.26)$$

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

9) Фондомісткість:

$$f = \frac{\Phi_{\text{осн}}}{C_{\Pi} - C_{МП}} = \frac{916250}{11993639 - 3510000} = 0,11 \quad (5.26)$$

10) Коефіцієнт завантаження обладнання;

11) Собівартість одиниці продукції, грн.

Показники ефективності та результативності діяльності дільниці плазмового наплення бандажів волочильних станів наведені у табл. 5.15.

Таблиця 5.17 – Показники ефективності та результативності дільниці плазмового наплення

Найменування показника	Значення показника
1. Річний випуск виробів	7500
- в натуральному вимірі, одиниць;	3950
- по трудомісткості, нормо-годин;	11993639
- в грошовому вимірі, грн.;	
2. Виробнича площа дільниці, м ²	90
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.	1681300
6. Середня заробітна плата за місяць, грн.	12737
7. Продуктивність праці одного працівника, грн/осіб.	771239

Продовження таблиці 5.17

8. Фондовіддача.	9,25
9. Коефіцієнт завантаження обладнання.	0,55
10. Фондомісткість.	0,11
11. Повна собівартість одиниці продукції, грн.	1600
12. Економічний ефект за розрахунковий рік.	356675

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 ділянці, що дає змогу значно знизити виробничу собівартість виробу.

2. Нова технологія дає змогу підвищити ресурс роботи бандажу з 38 до 113 робочих змін, що дає змогу посилити позиції підприємства у конкурентній боротьбі.

3. Економічний ефект від запропонованої технології складає 356675 грн. у рік.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В дипломній роботі розглядалось питання розробки технології плазмового напилення струмоведучим дротом бандажних кілець тягового барабану волочильного стану.

6.1 Аналіз потенційних небезпек

а) небезпеки які пов'язані з порушеннями роботодавцями вимог НПАОП 0.00 – 7.11 – 12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників», а саме:

- вимог щодо організації та забезпечення безпеки на робочих місцях, що може бути пов'язано з не проведенням організаційних заходів щодо навчання та перевірки знань з охорони праці, інструктажів, не наданням інформації про можливі небезпеки;

- вимог щодо облаштування робочих зон, що може бути пов'язано з незадовільним станом устаткування, захисних пристроїв, відсутності схем евакуації, захаращеність аварійних виходів .

б) можливість ураження електричним струмом, при виконанні службових обов'язків внаслідок порушення правил з електробезпеки, несправності енергоспоживаючого обладнання, відсутності групових або індивідуальних засобів захисту, що може призвести до електричних травм або летального наслідку.

в) небезпеки які пов'язані з виконанням процесу нанесення зносостійкого покриття, а саме:

- можливість отримання механічних травм при дробиструминній обробці, внаслідок відсутності індивідуальних засобів захисту органів зору.

- можливість ураження органів зору, внаслідок інтенсивного УФ випромінювання.

-можливість отримання термічних опіків, внаслідок відсутності індивідуальних засобів захисту.

г) небезпеки, які пов'язані з використанням методу оптичної мікроскопії.

г) небезпеки при нанесенні покриттів на деталі методом плазмового напилення струмоведучим дротом, а саме:

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

є) 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.

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

з) можливість загорання ділянки напилення, внаслідок порушення

правил пожежної безпеки, порушень технологічного процесу, що може призвести до пожежі.

і) 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.

6.2 Заходи по забезпеченню безпеки

а) згідно вимог НПАОП 0.00 – 7.11 – 12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників» [17] передбачено:

- усі працівники повинні пройти навчання та перевірку знань з питань охорони праці відповідно до «Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці», затвердженого наказом Держнаглядохоронпраці (Держпраці) від 26.01.2005 №15.

Роботодавець повинен забезпечити повну і вичерпну інформацію працівників з питань охорони праці як відносно підприємства в цілому так і відносно специфіки виконуваних робіт на робочих місцях, де зазначені можливі небезпечні ситуації та заходи для їх запобігання. Найбільш ефективним є проведення відповідних інструктажів (вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий).

- вимоги до облаштування робочих зон передбачають справний робочий стан устаткування і захисних пристроїв, сприяння безпечних умов для усунення виявлених несправностей, які можуть негативно вплинути на безпеку і здоров'я працівників, можливість регулярного контролю і перевірок здатності

функціонування захисних засобів і пристроїв, призначених для запобігання небезпеці або їх усунення.

Шляхи пересування в робочій зоні, включаючи сходи, стаціонарні переходи, аварійні виходи повинні бути позначені відповідними знаками, мати дороговкази, бути так розташовані і мати такі розміри, щоб прохід або проїзд був легким і безпечним. Наприклад: підлоги приміщень не повинні мати нерівностей, отворів або небезпечних ухилів, двері аварійних виходів повинні відкриватись назовні і замикатись, так, щоб у випадку необхідності будь-яка особа могла легко і швидко їх відкрити без застосування додаткових засобів, захаращеність робочих зон, шляхів пересування, аварійних виходів категорично забороняється. - виробниче приміщення повинні мати достатню площу і висоту, для раціонального планування робочих місць відповідно до СНиП 2.09.04 – 87 «Административные и бытовые здания» [18] та СНиП 2.09.02 – 85 «Производственные здания» [19].

б) згідно вимог НПАОП 40.1–1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок» [20] для безпечного проведення робіт необхідно виконати наступні організаційні заходи:

- призначити працівників, відповідальних за безпечне проведення робіт;
- видати наряд або розпорядження;
- видати дозвіл на підготовку робочих місць і на допуск;
- підготувати робочі місця та забезпечити допуск до роботи;
- забезпечити нагляд при виконанні робіт;
- при необхідності, організувати переведення на інше робоче місце;
- забезпечити оформлення перерв у роботі та порядок її закінчення.

До основних заходів захисту людини від ураження електричним струмом, відносять:

- забезпечення неможливості випадкового дотику до струмоведучих частин, що перебувають під напругою;
- електричний розподіл мережі;

- усунення небезпеки ураження з появою напруги на корпусах, кожухах та інших частинах електроустаткування, що досягається захисним заземленням, зануленням і захисним відключенням;

- використання малих напруг;

- захист від випадкового дотику до струмоведучих частин кожухами, огороженням або подвійною ізоляцією;

- захист від небезпек можливих при переході напруги з вищої сторони на нижчу;

- контроль і профілактика пошкоджень ізоляції;

- компенсація ємнісної складової струму замикання на землю;

- застосування спеціальних електрозахисних засобів, блокувань, сигналізації та запобіжних пристроїв;

- організація безпечної експлуатації електроустановок.

в) для уникнення травм при використанні процесу нанесення зносостійких покриттів, необхідно виконувати наступні заходи:

- робітники, які виконують операцію доробострумминої обробки повинні носити захисні окуляри.

- необхідно носити захисні маски, які захищають органи зору від інтенсивного УФ випромінювання.

- Для виключення термічних опіків передбачено використання індивідуальних засобів захисту, зокрема брезентових рукавиць.

г) для запобігання ушкодження органів зору при використанні оптичних мікроскопів слід перевіряти правильність комбінації світофільтрів, об'єктивів та окулярів.

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

- використовувати антифони, 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) інтенсивна робота з персональними комп'ютерами, обладнаними візуальними дисплейними терміналами є причиною виникнення багатьох

захворювань. Стан здоров'я користувачів ПК за суб'єктивними (скарга) і об'єктивними показниками (функціональний стан організму) залежить від типу роботи і умов її виконання. Всіх користувачів ПК можна умовно розділити на: - користувачів постійно працюючих з ПК відповідно до своїх професійних обов'язків; - користувачів, що працюють періодично (наприклад, учні, студенти). Робота користувача ПК виконується в одноманітній позі в умовах обмеження загальної м'язової активності при рухливості кистей рук, великому напруженні зорових функцій і нервово-емоційній напрузі під впливом наступних фізичних факторів:

- електростатичного поля;
- електромагнітних випромінювань у наднизькочастотному, низькочастотному та середньо частотному діапазонах (5 Гц – 400 кГц);
- рентгенівського, ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювань;
- випромінювань видимого діапазону;
- акустичного шуму;
- незадовільного рівня освітленості;
- незадовільних метеорологічних умов.

6.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

є) заходи з виробничої санітарії і гігієни праці визначаються відповідно до вимог Державних санітарних норм і правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», зареєстрованих МЮ України 06.05.2014 р. за № 472/25249, з урахуванням виявлених, в процесі аналізу потенційних небезпек, небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

Санітарний клас виробництва і розміри його санітарно-захисної зони визначаються з урахуванням наявних шкідливих виробничих факторів, згідно

вимог ДСН 173-96 «Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів» [21].

Параметри мікроклімату і чистоти повітря визначають згідно вимог ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» [22], в залежності від категорії фізичних робіт, для певних робочих місць (постійних і непостійних).

Постійне робоче місце – це місце, на якому працюючий знаходиться понад 50% робочого часу або більше 2-х годин безперервно. Якщо при цьому робота здійснюється в різних пунктах робочої зони, то постійним робочим місцем вважається вся ця зона.

Непостійне робоче місце – це місце, на якому працюючий знаходиться менше 50% робочого часу або менше 2-х годин безперервно.

Необхідно враховувати, що:

- для постійних робочих місць визначаються оптимальні та допустимі параметри мікроклімату в холодний та теплий період року;
- для непостійних робочих місць визначаються тільки допустимі параметри мікроклімату в холодний та теплий період року.
- в холодний період року на постійних робочих місцях: температура оптимальна від 18 °С до 20 °С, допустима від 17 °С до 23 °С; відносна вологість: оптимальна від 40 % до 60 %, допустима 75 %; швидкість переміщення повітря: оптимальна не більше 0,2 м/с, допустима не більше 0,3 м/с;
- в холодний період року на непостійних робочих місцях допустима температура: 15-24 °С; допустима відносна вологість: 75 %; допустима швидкість переміщення повітря: не більше 0,3 м/с;
- в теплий період року на постійних робочих місцях: температура оптимальна від 21 °С до 23 °С, допустима від 18 °С до 27 °С; відносна вологість: оптимальна від 40 % до 60 %, допустима від 40% до 60 %; швидкість переміщення повітря: оптимальна не більше 0,3 м/с, допустима не більше 0,4 м/с;

- в теплий період року на непостійних робочих місцях допустима температура 17-29 °С; допустима відносна вологість: 65 % при температурі 26 °С; допустима швидкість переміщення повітря: від 0,2 м/с до 0,4 м/с.

ж) далі, відповідно до вимог ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» [23], визначається оптимальний склад і тип систем вентиляції, кондиціонування та опалення, які забезпечують підтримку передбачених параметрів мікроклімату і чистоти повітря.

Об'єм повітряобміну обраховано за методикою, яка викладена у ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування».

Продуктивність природної вентиляції (приплив або витяжка повітря):

$$L = k \cdot V_n, \text{ м}^3/\text{год},$$

де k – кратність повітряобліку ($k=2$),

V_n - об'єм приміщення, м^3

$$V_n = 900 \cdot 7 = 6300 \text{ м}^3,$$

$$L = 2 \cdot 6300 = 12600 \text{ м}^3/\text{год}$$

Необхідний повітряобмін в приміщенні, де віділяється надлишкове тепло, розраховується за формулою:

$$L = 1 \cdot n, \text{ м}^3/\text{год},$$

де 1 мінімальна подача повітря на одного працівника відповідно до санітарних норм (до $20 \text{ м}^3 - 1 = 30 \text{ м}^3/\text{год}$; $>20 \text{ м}^3 - 1 = 20 \text{ м}^3/\text{год}$),

n – кількість працівників у приміщенні.

$$V = 6 \cdot 7 \cdot 5 = 210 \text{ м}^3,$$

$$V = 210 / 18 = 11,6 \text{ м}^3,$$

$$L = 30 \text{ м}^3/\text{год} \cdot 18 = 540 \text{ м}^3.$$

6.4 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

- Заходи з пожежної безпеки.

Комплекс протипожежних заходів для приміщення (лабораторії, офісу, тощо) обладнаного ПК з ВДТ розроблений згідно вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні»[24]. Виходячи з аналізу речовин та матеріалів, які використовуються при роботі у приміщенні (лабораторії, офісу, тощо) обладнаному ПК з ВДТ:

- згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)» у приміщенні (лабораторії, офісу, тощо) обладнаному ПК з ВДТ можлива пожежа класів – А (пожежа, що супроводжується горінням твердих матеріалів) та Е (горіння електроустановок, що перебувають під напругою до 1000 В);

- відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою», воно належить до категорії «Д» з пожежної небезпеки – простір у приміщенні, у якому перебувають тверді горючі речовини та матеріали.

Оскільки приміщення (лабораторії, офісу, тощо) обладнане ПК з ВДТ належить до виробництв категорії «Д» з пожежної небезпеки, тому згідно вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги»[25] воно має II ступінь вогнестійкості.

Згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту»[26], в приміщенні (лабораторії, офісу, тощо) обладнаному ПК з ВДТ встановлена система пожежної й охоронної сигналізації «СигналВК6». Яка забезпечує виявлення теплових і димових ознак пожежі і місця виникнення пожежі з точністю до місця розміщення датчика.

Оскільки приміщення (лабораторії, офісу, тощо) що обладнане ПК з ВДТ має площу 39 м², тому відповідно до вимог п. 5 розділу VI «Вибір типу та необхідної кількості вогнегасників», «Правил експлуатації та типових норм

належності вогнегасників», зареєстрованих в МЮ України 23.02.2018 р. за № 225/31677 для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою, передбачені вуглекислотні вогнегасники типу ВВК-3,5 у кількості 2 штук (з розрахунку один вогнегасник с величиною заряду вогнегасної речовини 3 кг. і більше, на 20 м² площі приміщення). Додатково, на кожному поверсі будівлі, в якій розміщене приміщення обладнане ПК з ВДТ, передбачене два переносних порошкових вогнегасника – ВП-5. Відстань між вогнегасниками та місцями можливих загорянь не перевищує 10 м.

- Заходи захисту у надзвичайних ситуаціях у відповідності до кодексу цивільного захисту України[27].

Порушення вимог цивільного захисту при проєктуванні та будівництві промислових об'єктів, що може призвести до катастрофи.

Стійкість роботи промислових об'єктів в умовах надзвичайної ситуації значною мірою залежить від того, у якому об'ємі були виконані вимоги норм проєктування інженерно-технічних заходів цивільного захисту до розміщення об'єктів, плануванню міст, до будівництва виробничих будівель і споруд, систем постачання водою, газом і електроенергією.

Вимоги норм проєктування спрямовані на зниження можливого збитку, втрат серед населення та створення кращих умов для проведення рятувальних і невідкладних аварійно-відбудовних робіт у можливих осередках ураження, а отже, сприяють підвищенню стійкості об'єктів.

Об'єкти господарчої діяльності, які мають важливе значення для національної економіки і оборони держави, належать до відповідних категорій цивільного захисту – особливої важливості, першій або другій категоріям.

Норми інженерно-технічних заходів цивільного захисту поширюються:

- на категоровані по цивільному захисту міста та окремо розташовані об'єкти особливої важливості і першої категорії (1 кат. – Запоріжжя і АЕС, 3 кат. – Мелітополь);

- на об'єкти, розташовані в категорованих містах, а також на території, де можливі руйнування та ураження людей (місця затоплення);

- на всю територію України, якщо це стосується захисту населення від радіоактивного, хімічного або бактеріологічного зараження місцевості.

Контроль виконання вимог норм інженерно-технічних заходів цивільного захисту здійснюють штаби цивільного захисту.

Інженерний захист територій включає:

- проведення районування територій за наявністю потенційно небезпечних об'єктів і небезпечних геологічних, гідрогеологічних та метеорологічних явищ і процесів, а також ризику виникнення надзвичайних ситуацій, пов'язаних з ними;

- віднесення міст до відповідних груп цивільного захисту та віднесення суб'єктів господарювання до відповідних категорій цивільного захисту;

- розроблення та включення вимог інженерно-технічних заходів цивільного захисту до відповідних видів містобудівної і проєктної документації та реалізація їх під час будівництва і експлуатації;

- урахування можливих проявів небезпечних геологічних, гідрогеологічних та метеорологічних явищ і процесів та негативних наслідків аварій під час розроблення генеральних планів населених пунктів і ведення містобудування;

- розміщення об'єктів підвищеної небезпеки з урахуванням наслідків аварій, що можуть статися на таких об'єктах;

- розроблення і здійснення заходів щодо безаварійного функціонування об'єктів підвищеної небезпеки;

- будівництво споруд, будівель, інженерних мереж і транспортних комунікацій із заданими рівнями безпеки та надійності;

- будівництво протизсувних, протиповіневих, протиселевих, протилавинних, протиерозійних та інших інженерних споруд спеціального призначення, їх утримання у функціональному стані;

- обстеження будівель, споруд, інженерних мереж і транспортних комунікацій, розроблення та здійснення заходів щодо їх безпечної експлуатації.

ВИСНОВКИ

1. Плазмове напилення струмоведучим дротом – це високопродуктивний технологічний процес, за допомогою якого можна наносити покриття товщиною від 0,1 мм до 20 мм з великої кількості матеріалів, які не сублімуються в плазмовому струмені і не зазнають інтенсивне розкладання. При цьому процесі нагрівання виробу не перевищує 200 °С, завдяки чому відсутній негативний вплив теплового циклу (що спостерігається у фазі наплавлення), дозволяє отримати покриття з високими механічними властивостями за відсутності залишкових деформацій у виробі. Тому доцільно використовувати цю технологію для відновлення деталей машини.

2. Одна з найважливіших характеристик якості покриттів – це міцність зчеплення з основним матеріалом виробу, що досягається за допомогою попередньої дробоструминної обробки поверхні виробу. Оптимальний час дробеструйної обробки деталей був підібраний для отримання максимальної сили зчеплення розпиленого шару з основою.

3. Встановлено, що бандажні кільця працюють в умовах тертя метал – метал при значних динамічних контактних навантаженнях. Зношення робочої поверхні бандажу – погіршення експлуатаційних характеристик, таких як зниження ефективності стану та руйнування або пошкодження поверхні дроту під час волочіння.

4. Основним критерієм вибору зносостійкого матеріалу для цих умов експлуатації є твердість напилюваного покриття та здатність основного матеріалу міцно утримувати напилений шар. Цим критерієм відповідає метал, напилений порошковим дротом ПП-100Х15Н2Г2Р, який забезпечує структуру напиленого покриття з високою зносостійкістю завдяки утворенню карбідів, боридів, карбо-боридів, що мають високу мікротвердість. Отримана твердість покриття знаходиться на рівні від 54 HRC до 57 HRC, що трохи нижче для сталі ШХ – 15 (від 62 HRC до 64 HRC), але мікротвердість армуючих фаз становить

від 15 ГПа до 22 ГПа , що набагато перевищує мікротвердість основи (приблизно 9 ГПа).

5 Відповідно до умов експлуатації та обраного зносостійкого матеріалу була розроблена технологія плазмового напилення, барабанних бандажів волочильного стану підібране обладнання для виконання цього технологічного процесу.

6 Проведено економічний розрахунок ділянки та розроблено планування ділянки.

7 Було визначено ефективні заходи з охорони праці в надзвичайних ситуаціях та з техніки безпеки, які забезпечують безпечне відновлення деталей.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Сачава Д. Г. Классификация, причины возникновения, способы предотвращения износа и разрушения волочильного инструмента [Текст] / Д. Г. Сачава, И. П. Лазебникова – Литье и металлургия. – 2006. – №4. – С. 44 – 46.
2. Когос А. М. Механическое оборудование волочильных и лентопрокатных цехов [Текст] / А. М Когос : учеб. пособие: Металлургия, 1963. – 395 с.
3. Барков Н.А. Оборудование прокатно-прессово-волочильных цехов [Текст] / Н.А Барков, В.П Катрюк : – Конспект лекций. — Красноярск: Изд-во Сибирского федерального университета, 2011. — С.78.
4. Королев В.Д Волочильные станы для производства стальной проволоки [Текст] / В.Д Королев, И.И Боков, Л. Г. Утяганов, Б. Н. Красавин : Учебное пособие. – Магнитогорск: МГТУ, 1999. — 236 с.
5. Волченко В. Н. Сварка и свариваемые материалы: Справочник: 3т. / Под общ. ред. д-ра техн. наук В. Н. Волченко. – М.: изд.-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998.
6. Краснов, А. Н. Низкотемпературная плазма в металлургии [Текст] : учеб. / А. Н. Краснов, С. Ю. Шаривкер. – М. : Металлургия, 1970. – С. 216.
7. Кудинов, В. В. Тепловые характеристики металлизационной дуговой плазменной струи [Текст] / В. В. Кудинов // Сварочное производство. – 1964. - № 1. – С. 6-10.
8. 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.
9. Лащенко, Г. И. Плазменное упрочнение и напыление [Текст] / Г. И. Лащенко. – К. : Экотехнология, 2003. – С. 64.

10. 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.

11. Быковский О. Г. Оптимизация процесса плазменного напыления токоведущей проволокой / О. Г. Быковский, А. Н. Лаптева, Д. В. Строганов, Н. П. Пасько // Сварщик. – 2017. - № 118. – С. 19 – 20.

12. Русев Г. М. Влияние параметров режима плазменного напыления токоведущей проволокой на фракционный состав распыляемых частиц / Г. М. Русев, А. Г. Русев , В. В. Овсянников , О. Г. Быковский , А. Н. Пасько // Автоматическая сварка – 2013. - № 101. – С.45 – 47.

13. Методика и практика металлографического исследования инструментальной стали. - М.: Машгиз, 1961. –228 с.

14. Коваленко В.С. Металлографические реактивы / В.С. Коваленко. – М.: Металлургия, 1981 г. –121 с.

15. 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.

16. Круглікова В.В. Методичні рекомендації щодо виконання економічного розділу дипломного проєкту здобувачами вищої освіти технічних спеціальностей за освітнім ступенем «магістр», – Запоріжжя: Кафедра підприємництва, торгівлі та біржової діяльності, НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 12с.

17. НПАОП 0.00 – 7.11 – 12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників».

18. СНиП 2.09.04 – 87 «Администативные и бытовые здания».

19. СНиП 2.09.02 – 85 «Производственные здания».

20. НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок».

21. ДСН 173-96 «Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів».
22. ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».
23. ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування».
24. НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».
25. ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги».
26. ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту».
27. Верховна Рада України; КОДЕКС ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ, від 02.10.2012 № 5403-VI (Редакція станом

Дубл.					Розроб.	Лексиков	ЛСМ
Взам.					Перевір.	Биковський	БКС
Подл.					Н. контр.	Шумікін	Ш
					Листів 3		
					Лист 1		
					ГКІЮ 084820.		
					ДП		

МАРШРУТНА КАРТА
технологічного процесу
плазмового наплення струмоведучим дротом
бандажів волочильних станів

[illegible]