

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 проєкту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти (освітній ступінь))

тему: «Розробка технології плазмового напilenня алюмінієвих струмопідводів шаф
керування міддю з проектуванням ділянки»

Виконав: студент 5 курсу, групи ІФ-319м

Спеціальності 131 Прикладна механіка,

Освітня програма (спеціалізація)

Технології та устаткування зварювання

Сінько Владислав Вікторович
(ініціали)

(прізвище та

Лаптева Ганна Миколаївна

(прізвище та ініціали)

Рецензент Кишор О.В.
(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)

Вісвітня 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

Гетько Владислав Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема проєкту (роботи) Розробка технології плазмового напилення алюмінієвих
шумопідводів шаф керування міддю з проектуванням дільниці

Відповідальний виконавець проєкту (роботи) Лаптева Ганна Миколаївна, к.т.н., доцент,

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

Відомості про наказ закладу вищої освіти від «30» листопада 2020 року № 364

Строк подання студентом проєкту (роботи) _____

Вихідні дані до проєкту (роботи) Технологія плазмового напилення кабельних
конечників,

Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
 розв'язати) Розділ 1. Аналіз можливих рішень проблеми суміщення контактної пари
мідь-алюміній; Розділ 2 Розробка методики дослідження і проведення експериментів;
Розділ 3 Вплив підготовки поверхні і товщини напиленого шару на міцність зчеплення
контактний опір з'єднання; Розділ 4 Техніко-економічні розрахунки дільниці
плазмового напилення; Розділ 5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.

Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Завдання та мета, номенклатура наконечників, залежність міцності зчеплення алюмінію
міддю та характер руйнування від товщини напиленого шару, структура зони з'єднання
напиленого міддю на алюміній та змінення мікротвердості на границі розподілу
алюміній-мідь, принципова схема стенду для вимірювання контактного опору та
залежність початкового опору контактного з'єднання від товщини та ступеню обробки
поверхні напиленого шару, установка для напилення, показники ефективності та
економічності, план дільниці плазмового напилення.

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконав завдання
1-3	Лаптева Г.М., к.т.н., доцент, викладач каф. ОТЗВ	01.10.2020	11.12.20
4	Нестеров О.В., к.т.н., доцент, завідувач каф. ОПІНС		
5	Круглікова В.В., к.е.н., доцент, викладач каф. ПТБД	4.10.20	15.12.20

7. Дата видачі завдання « 01 » 10 2020 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Прізвище виконавця
1	Вступ	28.09.20	виконано
2	Аналіз можливих рішень проблеми суміщення контактної пари мідь-алюміній	02.10.20	виконано
3	Розробка методики дослідження і проведення експериментів	12.10.20	виконано
4	Вплив підготовки поверхні і товщини напиленого шару на міцність зчеплення та контактний опір з'єднання	22.10.20	виконано
5	Техніко-економічні розрахунки ділянки плазмового напилення	02.11.20	виконано
6	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	10.11.20	виконано
7	Формування висновків з магістерської роботи	14.11.20	виконано
8	Перелік джерел посилань	20.11.20	виконано
9	Додатки	22.11.20	виконано
10	Оформлення магістерської роботи, нормоконтроль	26.11.20	виконано
11	Розробка доповіді до захисту	07.12.20	виконано
12	Подання роботи до захисту		

Студент

(підпис)

Сінько В. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи)

(підпис)

Лаптева Г. М.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 99 с., 23 табл., 16 рис., 2 дод., 32 джерел.

ПЛАЗМОВЕ НАПИЛЕННЯ, СТРУМОВЕДУЧИЙ НАКОНЕЧНИК,
КОНТАКТНА ПАРА, ДРОБОСТРУМИННА ОБРОБКА, МІЦНІСТЬ
ЗЧЕПЛЕННЯ, АДГЕЗІЯ, КОГЕЗІЯ.

Об'єкт дослідження – технологічний процес плазмового напилення струмоведучим дротом кабельний наконечник 70 – 10 – 12 – А – УХЛЗ.

Мета МД:

– розробка технології плазмового напилення алюмінієвих струмопідводів, для вирішення проблеми суміщення контактної пари мідь-алюміній.

Завдання МД:

– визначити залежність початкового опору контактного з'єднання від товщини та ступеню обробки поверхні напиленого шару;

– розробити технологічний процес напилення міді на алюмінієві струмопідводи.

В результаті МД: розроблено технологічний процес плазмового напилення міді струмоведучим дротом на алюмінієві струмопідводи; вибране допоміжне обладнання; визначена економічна ефективність; спроектована ділянка для плазмового напилення; розроблена маршрутна карта технологічного процесу.

ABSTRACT

Explanatory note: 99 p., 23 tabl., 16 fig., 2 appendices, 32 sources.

PLASMA SPRAYING, CURRENT-CARRYING TIP, CONTACT PAIR,
SHOT BLASTING, ADHESION STRENGTH, ADHESION, COHESIA,

The object of research is the technological process of Plasma Spraying with live wire cable tip 70-10-12 – a-UHL3.

The purpose of MD is to develop a technology for Plasma Spraying of aluminum current leads to solve the problem of combining the copper– aluminum contact pair.

MD task:

- determine the dependence of the adhesion strength of the copper coating to the aluminum base depending on the surface roughness and thickness of the sprayed layer;
- determine the dependence of the initial resistance of the contact joint on the thickness and degree of surface treatment of the sprayed layer;
- develop a technological process for spraying copper on aluminum current leads.

As a result of MD: the technological process of Plasma Spraying of copper with a current-carrying wire on aluminum current leads was developed; auxiliary equipment was selected; economic efficiency was determined; a site for Plasma Spraying was designed; a route map of the technological process was developed.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць і термінів	8
Вступ.....	9
1.1 Струмопровідні мастила	12
1.2 Біметалічні прокладки.....	14
1.3 Переваги напилення і випадки використання	15
1.4 Номенклатура струмопідводів.....	17
2 Розробка методики дослідження і проведення експериментів.....	23
2.1. Підвищення електропровідності алюмінієвих струмопідводів	23
2.2 Дослідження міцності зчеплення	24
2.3 Металографічні дослідження міжфазної зони.....	26
2.4 Техніка дробоструминної обробки напилюваної поверхні.....	28
2.5 Визначення контактного опору напиленого шару	31
3 Вплив підготовки поверхні та товщини напиленого шару на міцність зчеплення та контактний опір з'єднання	33
3.1 Міцність зчеплення.....	33
3.2 Контактний опір.....	38
3.3 Мікроструктура перехідної зони.....	39
3.4 Розробка технології напилення міді на алюмінієві струмоведучі наконечники	41
3.4.1 Підготовка поверхні	42
3.4.2 Плазмове напилення струмоведучим дротом	44
3.4.3 Контроль якості напиленого виробу і методи усунення дефектів	45
3.5 Обладнання для здійснення процесу плазмового напилення	47
4 Техніко-економічні розрахунки дільниці плазмового напилення	52
4.1 Опис ідеї проекту.....	52
4.2 Технічне нормування операцій	54
4.2.1 Розрахунок кількості обладнання, площі дільниці.....	55
4.2.2 Розрахунок чисельності персоналу дільниці.....	57
4.3 Планування витрат на виробництво	59
4.3.1 Матеріальні витрати.....	59
4.3.2 Вартість основних засобів	61
4.3.3 Розрахунок фонду оплати праці	62
4.3.4 Собівартість виробу	67

4.4 Економічне обґрунтування запропонованих розробок.....	71
4.4.1 Розрахунок економічного ефекту	72
4.4.2 Ефективність та результативність	73
5 Охорона праці і безпека у надзвичайних ситуаціях	76
5.1 Аналіз потенційних небезпек	76
5.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки	78
5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці	84
5.4 Заходи з пожежної безпеки.....	86
Висновки	90
Перелік джерел посилання	92
Додаток А Специфікація установка для наплення.....	96
Додаток Б Маршрутна карта.....	97

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ

К – кельвін;

% - відсоток;

м – метр;

мм – міліметр;

мк – мікро;

М – мега;

Ом – електричний опір;

Па – паскаль;

HRC – твердість за Роквелом;

HB – твердість за Брінелем;

кг – кілограм;

хв – хвилина;

л – літр;

с – секунда;

А – ампер;

В – вольт;

Вт – ватт;

град – градус;

млрд – мільярд;

лм – люмен;

$\sigma_{зч}$ – міцність зчеплення;

Ra – середнє арифметичне відхилення профілю;

Rz – висота нерівностей профілю по 10 точках;

ВСТУП

Згідно зі статистичними даними втрати електричної енергії на контактних з'єднаннях в електричних мережах складають від 1 % до 10 % від усієї споживаної електроенергії. В умовах розвинення електроенергетики зниження частки цієї складової втрат може дати відчутний внесок у вирішення проблеми енергозбереження в цілому. Основними матеріалами струмоведучих елементів в електричних мережах і установках є мідь і алюміній. Як правило, з міді виконуються вводи електроустановок, електричних машин і апаратів, які з'єднуються з алюмінієвими проводами, шинопроводами і струмопроводами електричних мереж за допомогою болтових контактних з'єднань. Відомо, що контактна пара мідь-алюміній (Cu – Al) характеризується відносно високим перехідним опором, в основному, через утворення на алюмінієвій поверхні тонкої оксидної плівки, що володіє високим питомим опором. Крім того, контактні сполуки двох різнорідних металів Cu – Al представляють із себе електрохімічну пару. Електрохімічні процеси, активізуються протіканням струмів силового навантаження, призводять до швидкої деградації контактного переходу і підвищення його опору аж до повного порушення електричного контакту. Це, природно, призводить до значного підвищення джоулевих втрат енергії і можливості виникнення аварійної ситуації. Тому проблема електричного суміщення контактної пари Cu – Al і зниження її перехідного опору досі залишається актуальною.

Існуючі способи вирішення даної проблеми недостатньо ефективні і мають ряд недоліків. При використанні біметалічних прокладок (Cu – Al) забезпечується надійне поєднання контактної пари, але істотно збільшується перехідний опір через появу додаткового перехідного контакту алюміній-алюміній (Al – Al).

При тривалій експлуатації контактів з струмопровідними мастилами на основі міді їх якість сильно погіршується через висихання і затвердіння

сполучного. При ревізії з'єднань потрібно очищення поверхонь і нанесення нового шару мастила. Традиційні електролітичні і газодинамічні покриття характеризуються поганою адгезією і низькою стійкістю до динамічних і термічних впливів, що практично виключає їх повторне використання.

В даному дипломному проекті розглядається технологія плазмового напилення мідного покриття на алюмінієві струмоведучі наконечники.

Нанесення покриттів плазмовим розпиленням є одним із розповсюджених процесів отримання поверхонь із спеціальними властивостями: зносостійкістю при нормальних і високих температурах, корозійною стійкістю, електропровідністю і т. д. Властивості плазмових покриттів визначаються фізико-хімічними процесами, які відбуваються між основою і частинками, а також між самими частинками в покритті при їх сплавленні, деформації і затвердінні. Останнє залежить від кінетики і механізму контактної взаємодії частинок, а це визначає властивості і працездатність покриттів.

Відомо, що міцність покриття в значній мірі залежить від енергетичних характеристик (струму, напруги, витрати плазмоутворюючого та транспортуючого газів) та стану поверхні напилюваної основи.

Більшість досліджень присвячено аналітичним розрахункам температури тугоплавких порошкових частинок, які досягають або дещо перевищують температуру плавлення матеріалу, проте експериментальних даних, що підтверджують ці положення, немає. Тому в умовах, коли кількість експериментальних даних по нагріванню частинок в плазмовому потоці істотно обмежена, а розрахункові методи не можуть бути достатньо надійними через відсутність даних про вплив різних чинників на інтенсивність взаємодії часток з потоком плазми, проведення досліджень у цьому напрямку і далі видається актуальним і необхідним.

1 АНАЛІЗ МОЖЛИВИХ РІШЕНЬ ПРОБЛЕМИ СУМІЩЕННЯ КОНТАКТНОЇ ПАРИ МІДЬ-АЛЮМІНІЙ

Згідно зі статистичними даними втрати електричної енергії на контактних з'єднаннях досягають від 1 % до 10 % від усієї споживаної енергії (в залежності від потужності споживання підприємства, якості і ступеня зношеності обладнання). У зв'язку з цим необхідно максимально знизити втрати енергії в місцях контактних з'єднань сильноточних ланцюгів. Основними матеріалами контактних струмоведучих частин є мідь і алюміній через їх високу питому електропровідність. Однак перехід від мідного провідника до алюмінієвого вимагає вирішення завдання електрохімічного суміщення цих матеріалів. Алюміній є більш активним металом в порівнянні з міддю, тому поверхня алюмінієвого контакту легше піддається окисленню. Процес окислення виникає через хімічної реакції (навіть при нормальних умовах і кімнатній температурі), яка протікає при взаємодії алюмінію з атмосферним киснем. В результаті реакції окислення на поверхні утворюється тонка плівка з непровідного оксиду алюмінію, так званий «оксидний бар'єр» товщиною від 5 А до 100 А. Тому навіть в нормальних умовах експлуатації утворена плівка погіршує електропровідні властивості контактного з'єднання. В умовах підвищеної температури швидкість росту оксидної плівки і її товщина зростають. На мідній контактній поверхні з часом також утворюється оксидна плівка. Однак цей процес протікає в часі набагато повільніше і надалі окис міді CuO переходить в окис міді Cu_2O , яка має відносно високі значення електропровідності.

Наслідком появи оксидів міді та алюмінію в присутність конденсованої вологи стає утворення електроліту в контактному зазорі і виникнення електрохімічного процесу, який інтенсифікується наявністю зовнішнього електричного поля і струмами навантаження. Це призводить до руйнування контактних перемичок, зменшення числа контактних точок і зростання перехідного контактного опору з відповідними втратами енергії. Інтенсивність

цього процесу зростає внаслідок ослаблення контактного (болтового) з'єднання або при багаторазовому з'єднанні-роз'єднанні контактна без відповідної ревізії і підготовці контактних поверхонь.

Розробка нового ефективного методу вирішення проблеми суміщення міді та алюмінію є актуальним завданням. На практиці відомо кілька способів вирішення цієї проблеми, що полягають у використанні біметалічних пластин, струмопровідних мастил, а також в нанесенні різними способами мідного покриття на алюмінієві контактні поверхні. Однак ці методи вирішення проблеми не відповідають повною мірою існуючим вимогам, що пред'являються до якості контактних з'єднань [1, 2].

1.1 Струмопровідні мастила

Струмопровідне мастило – це паста, що забезпечує зниження перехідного контактного опору в перехідних елементах мережі. Струмопровідне мастило зазвичай являє собою органічну матрицю з вискоелектропровідними порошковими наповнювачами, зокрема графіту і міді. Матриця забезпечує герметичність контактного з'єднання, а дисперсні провідні частинки створюють електричний контакт практично по всій контактній поверхні.

Основна вимога до існуючих мастил – це забезпечення надійної і стійкої роботи системи шляхом хімічного руйнування оксидної плівки, що утворюється на поверхні алюмінієвих і мідних контактів, а також забезпечення при тривалому режимі роботи низької ймовірності її виникнення знову.

Позитивний ефект струмопровідних мастил досягається за рахунок того, що їх застосування дозволяє збільшити ефективну площу контактування і струмопередачі. Це забезпечується за рахунок того, що наноситься мастило заповнює всі нерівності і порожнечі між контактними поверхнями (рис. 1.1). Достатня плинність використовуваної композиції забезпечує її видавлювання в

зоні контактування, а введення частинок металевого мікродисперсного порошку призводить до заповнення мікровпадін дотичних контактів і створення суцільної струмопровідної прокладки.

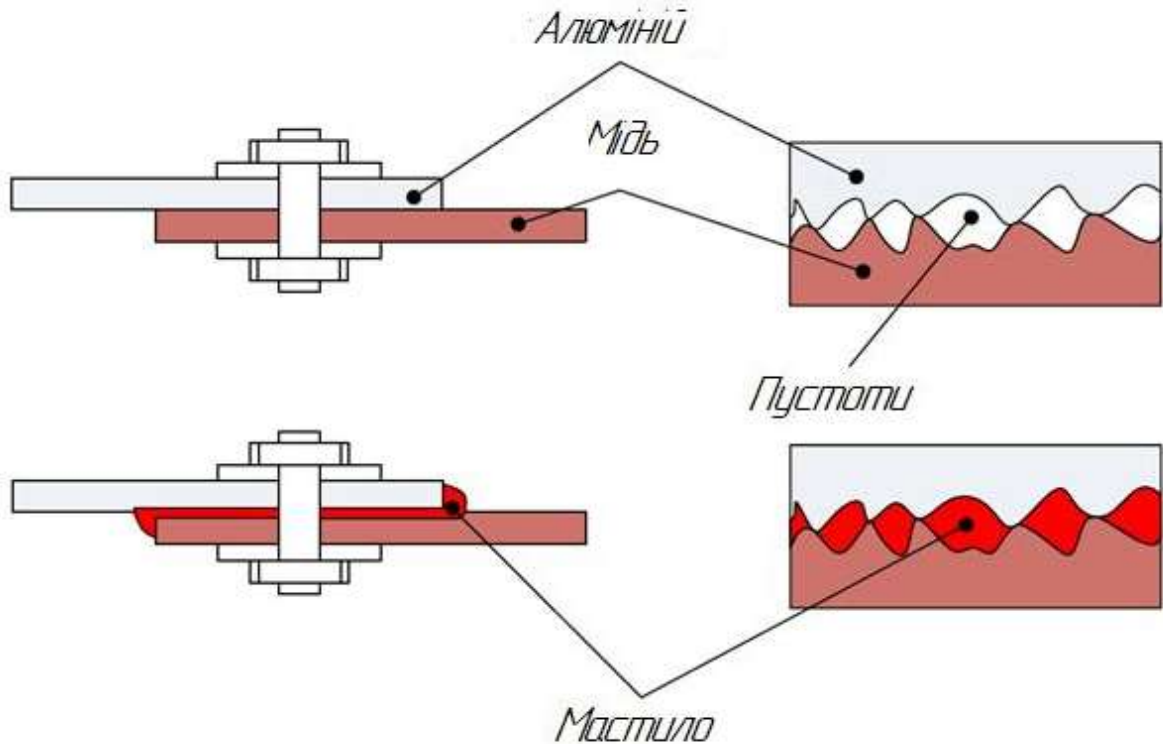


Рисунок 1.1 – Принцип дії струмопровідних мастил

Застосування струмопровідного мастила дозволяє повністю використовувати площу перекриття контактних поверхонь, знизити і стабілізувати контактний опір, зменшити втрати енергії і збільшити термін служби болтових контактних з'єднань [3].

Однак даний метод з'єднання міді та алюмінію має істотний недолік, який полягає в тому, що при тривалій експлуатації якість контакту погіршується за рахунок затвердіння матриці і розтріскування струмопровідного шару. При ревізії контактного з'єднання з'являється необхідність у відчистці контактних поверхонь і нанесення нового шару електропровідного мастила [3, 4].

1.2 Біметалічні прокладки

Професійний монтаж контактних елементів за допомогою біметалічних прокладок дозволить вирішити проблему поєднання контактної пари мідь-алюміній. Існує кілька різновидів таких прокладок, що виготовляються методами: лазерного зварювання, зварювання тертям, холодного зварювання, зварювання під тиском, зварювання вибухом.

У роботі [5, 6] розглядається вплив умов лазерної пайки-зварювання міді та алюмінію на величину перехідного контактного опору. Дана технологія забезпечує високоміцне з'єднання міді та алюмінію з мінімальним перехідним опором за рахунок утворення шару взаємного перемішування матеріалів товщиною близько 3 мкм. Однак даний метод вимагає спеціального обладнання та оснащення, є досить складним і дорогим для реалізації в промислових умовах.

У роботі [7] пропонується інший спосіб з'єднання міді та алюмінію зварюванням тертям. Даний метод дозволяє вирішити проблему поєднання міді та алюмінію, але не забезпечує необхідної якості контактного з'єднання через утворення мікротріщин і, як наслідок, збільшення перехідного контактного опору.

З огляду на те, що при використанні методів холодного зварювання і зварювання під тиском, якість і надійність одержуваних контактних біметалічних пластин падає, все більш широке застосування отримала технологія зварювання вибухом. Зварювання вибухом – це процес високоміцного нероз'ємного з'єднання пластин різних металів за рахунок їх високошвидкісного зіткнення під дією вибуху заряду вибухової речовини. Великою перевагою даної технології є високоефективне очищення поверхонь пластин від окисних плівок та інших забруднень. Основними перевагами зварювання вибухом є міцний зв'язок між зварюваними матеріалами і збереження їх фізико-механічних властивостей [8 – 10].

В цілому біметалічна пластина представляє композиційний матеріал, що складається з двох металів або їх сплавів з різними коефіцієнтами теплового розширення. За рахунок цього реалізуються унікальні властивості-основний шар металу забезпечує міцність і інші механічні властивості, другий плакуючий шар металу забезпечує необхідну корозійну стійкість. Другий шар зазвичай складається з нержавіючої сталі, титану, міді, алюмінію та інше.

Великим недоліком застосування біметалічних мідноалюмінієвих прокладок є збільшення числа контактних переходів, внаслідок чого зростає величина перехідного контактного опору, і зростають втрати електроенергії.

Виходячи з вище сказаного найбільш якісним методом вирішення проблеми поєднання міді та алюмінію є нанесення покриттів. Даний метод вирішує проблему виключення корозії і підвищує стабільність з'єднань мідь-алюміній. Для нанесення покриттів вибираємо метод плазмового напилення. Технологія володіє великою перевагою з огляду на те, що покриття виходить рівномірне за складом і структурою за рахунок нанесення матеріалу в рідкому вигляді на підкладку в умовах високих температур (від 5000 °C до 12000 °C) і швидкостей плазмового струменя (від 200 м/с до 700 м/с).

1.3 Переваги напилення і випадки використання

Нанесення покриттів плазмовим напиленням є одним із розповсюджених процесів отримання поверхонь із спеціальними властивостями: зносостійкістю при нормальних і високих температурах, корозійною стійкістю, електропровідністю і т. д. Властивості плазмових покриттів визначаються фізико-хімічними процесами, які відбуваються між основою і частинками, а також між самими частинками в покритті при їх сплавленні, деформації і затвердінні. Останнє залежить від кінетики і механізму контактної взаємодії частинок, а це визначає властивості і працездатність покриттів.

Плазмою можна наносити покриття практично із всіх матеріалів: суцільних і порошкових дротів, порошків, кераміки, оксидів, а також складних багатокомпонентних матеріалів. Товщина покриттів може становити від 30 мкм до декількох міліметрів. Технологічні можливості плазмового напилення дозволяють використовувати його у різних галузях.

Плазмове напилення широко використовується:

у машинобудуванні для зміцнення деталей (підшипники, ролики, шестерні, калібри, у тому числі і різьбові, станочні центри, матриці, пуансони та і т.д.)

– в автомобільній галузі для нанесення покриттів на колінвали та розподільвали, кулаки гальм, циліндри, головки та кільця поршнів, диски зчеплення, вихлопні клапани;

– в електротехнічній промисловості – для покриттів конденсаторів, відбивачі антен;

– у хімічній та нафтохімічній промисловості – для покриття клапанів і сідла, клапанів, плунжерів, валів, крильчаток, циліндрів насосів, камер згорання, для захисту від корозії металоконструкції, працюючих у морському середовищі;

– у медицині – для напилення електродів озонаторів, зубних протезів;

– у авіаційній промисловості для нанесення покриттів на сопла, лопатки турбін, для облицювання фюзеляжів.

До переваг метода плазмового напилення покриттів необхідно віднести:

– можливість напилення практично усіх матеріалів, що не сублимують і не розкладаються;

– великі можливості керування тепловим режимом напилення; можливість нанесення покриттів на великі та малі поверхні, на окремі ділянки і деталі складної конфігурації;

– низьку температуру нагріву поверхні, що напилюються, що дозволяє зберегти особливості структури та властивості матеріалу основи;

- можливість нанесення декількох шарів, кожний з яких (наприклад, стійкий до високотемпературної корозії + термобар'єрний);
- можливість комплексної механізації та автоматизації процесу;
- можливість отримання робочої поверхні деталі з заданими експлуатаційними властивостями;
- високий коефіцієнт використання порошкового матеріалу;
- висока температура плазми дозволяє проводити напилення тугоплавких матеріалів.
- можливість регулювання температури і швидкості плазмового струменя шляхом вибору форми і діаметра сопла і режиму напилення розширює діапазон матеріалів, що напилюють (метали, кераміки та органічні матеріали);
- використання інертного газу у якості робочого газу відкриває можливості напилення у камерах з атмосферою інертного газу [11].

1.4 Номенклатура струмопідводів

Підключення приладів чи всіляких пристроїв до електромережі необхідно виконувати з надійним контактом. Інакше буде руйнуватись цілісність електричного ланцюга, а прилад буде піддаватись постійним навантаженням. Щоб уникнути цього, необхідно проводити кінцевання кабелю спеціальним наконечником.

Кабельний наконечник (з'єднувач чи гільза) - це електромонтажний виріб, що призначений для підготовки провідників (проводів, кабелів) до фіксації на електрообладнанні за допомогою болтових (гвинтових) з'єднань. Іншими словами, для швидкого та надійного фіксування провідників на клемі двигуна, котушку трансформатора, електромагніту і т. д. його необхідно закінчувати кабельним наконечником (рис. 1.2).

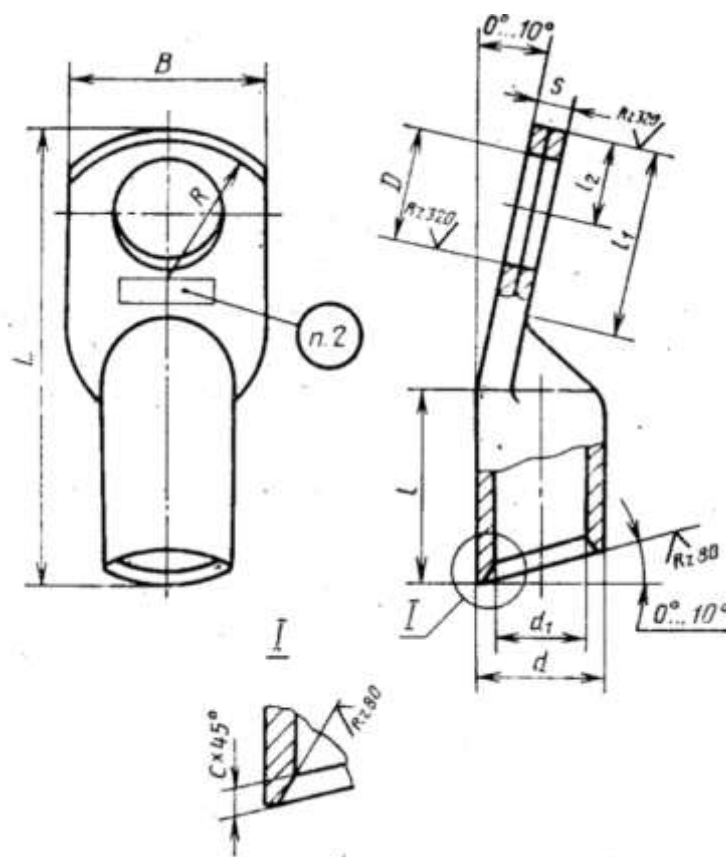


Рисунок 1.2 – Кабельний наконечник 70 – 10 – 12 – А – УХЛЗ

Застосування кабельних наконечників дозволяє знизити перехідний опір між провідником та обладнанням, а також покращити контакт. Тим самим зменшується тепловиділення у місці контакту, виключається можливість появи іскри та загоряння, що в свою чергу приводить до збільшення терміну експлуатації обладнання. Наконечники розрізняють за видом матеріалу, способом виготовлення, формою та розмірами. Номенклатура наконечників досить різноманітна і відображена таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Номенклатура наконечників

Позначення	Діаметр контактного стрижня	D	d	d ₁	c	L		L _{min}	l ₁	l ₂	S		B	R _{max}	Розрахункова маса 1000 шт, кг, не більше			
						трубка	пруток				трубка	пруток			трубка	пруток		
16-8-5,4А-УХЛ3	8	8,4	10	5,4	1,2	59±1	59±1	30	22	9	3,5	3,5	16,5	13	9,2	8,3		
16-8-5,4А-УХЛ2																		
16-8-5,4А-Т2																		
25-8-7-А-УХЛ3			12	7,0	1,3	62±1	62±1				4,5	4,5			18	12,9	12,6	
25-8-7-А-УХЛ2																		
25-8-7-А-Т2																		
35-10-8-А-УХЛ3	10	10,5	14	8,0	1,5	68±1	66±1	27	12	5	5	20	13	19,6	17,5			
35-10-8-А-УХЛ2																		
35-10-8-А-Т2																		
50-10-9-А-УХЛ3			16	9,0	1,8	75±1	70±1			36	5,5			6	23	16	28,8	24,9
50-10-9-А-УХЛ2																		
50-10-9-А-Т2																		
70-10-11-А-УХЛ3			11			86±2	81±2	38			6	7	25	20	38	35,5		
70-10-11-А-УХЛ2																		
70-10-11-А-Т2																		

Продовження таблиці 1.1

Позначення	Діаметр	D	d	d ₁	c	L	L _{min}	l ₁	l ₂	S	B	R _{max}	Розрахункова
------------	---------	---	---	----------------	---	---	------------------	----------------	----------------	---	---	------------------	--------------

	контактног о стрижня														маса 1000 шт, кг, не більше	
						трубка	пруток				трубка	пруток			трубка	пруток
70-10-12-A-УХЛ3	10	10,5	18	12	1,5	86±2	81±2	38			5,5	5,5	25	20	35,7	33,7
70-10-12-A-УХЛ2																
70-10-12-A-T2																
95-12-13-A-УХЛ3	12	13,0	20	13	1,8	89±2	83±2	40			6,5	7,5	28		44,5	41,8
95-12-13-A-УХЛ2																
95-12-13-A-T2																
120-12-14-A-УХЛ3			22	14	2,0	96±2	90±2	48			7	33	59,9		55,5	
120-12-14-A-УХЛ2																
120-12-14-A-T2																
120-16-14-A-УХЛ3	16	17					15			58,6	54,2					
120-16-14-A-УХЛ2																
120-16-14-A-T2																
150-12-16-A-УХЛ3	12	13	24	16		107±2	100±2		42	13	8,5	34	24	74	72,5	
150-12-16-A-УХЛ2																
150-12-16-A-T2																
150-16-16-A-УХЛ3	16	17							15	7,0					72	71,2
150-16-16-A-УХЛ2																

Продовження таблиці 1.1

Позначення	Діаметр контактного стрижня	D	d	d ₁	c	L	L _{min}	l ₁	l ₂	S	B	R _{max}	Розрахункова маса 1000 шт, кг, не більше
------------	-----------------------------------	---	---	----------------	---	---	------------------	----------------	----------------	---	---	------------------	--

						трубка	пруток				трубка	пруток			трубка	пруток					
150-16-16-A-T2	16	17	24	16	2,0	107±2	100±2		42	15		7,0	34	24	72	71,2					
150-12-17-A-YXJI3	12	13		17	1,8					13	6,5	6,5			61,3	60,4					
150-12-17-A-YXJI2																					
150-12-17-A-T2																					
150-16-17-A-YXJI3	16	17										15					60	58,6			
150-16-17-A-YXJI2																					
150-16-17-A-T2																					
185-16-18-A-YXJI3													7,5	7,5			78,9	75,1			
185-16-18-A-YXJI2																					
185-16-18-A-T2																					
185-20-18-A-YXJI3	20	21	26	18	2,0	116±2	108±2	50	47	19					75,3	73,2					
185-20-18-A-YXJI2																					
185-20-18-A-T2																					
185-16-19-A-YXJI3	16	17																		70	68,3
185-16-19-A-YXJI2																					
185-16-19-A-T2																					

Продовження таблиці 1.1

Позначення	Діаметр контактного стрижня	D	d	d ₁	c	L		L _{min}	l ₁	l ₂	S		B	R _{max}	Розрахункова маса 1000 шт, кг, не більше	
						трубка	пруток				трубка	пруток			трубка	пруток

В даному дипломному проекті розробляється технологія плазмового напилення мідного покриття М1 на струмоведучі наконечники з алюмінієвого сплаву А0, зовнішній вигляд наконечників представлений на рис. 1.3.



Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд струмоведучих наконечників з мідним покриттям

2 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ І ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

2.1. Підвищення електропровідності алюмінієвих струмопідводів

З метою економії дефіцитної й дорогої міді в електричних машинах і апаратах прагнуть звести до мінімуму її використання, внаслідок чого доводиться застосовувати комбіновані мідно-алюмінієві струмопередаючі шини. Безпосередні механічні болтові з'єднання таких шин внаслідок наявності оксидної плівки Al_2O_3 викликають різке зростання перехідного опору мідь-алюміній і його нагрівання, а різниця в коефіцієнтах термічного лінійного розширення (16.8×10^6 град⁻¹ для міді и 24.3×10^6 град⁻¹ для алюмінію) призводить до деформації вузла, збільшення зазору й к ще більшим втратам електроенергії.

Способи безпосереднього зварювання плавленням цих металів надзвичайно ускладнені через утворення крихких інтерметалідних з'єднань типу Al_mCu_n , що самовільно руйнуються під дією термічних напружень, а холодне стикове зварювання застосовується лише для перехідників з компактною формою поперечного перерізу.

Застосування перехідника з композиційного матеріалу типу «ковбаси», що складається з алюмінієвої матриці, у яку вкраплені великі включення міді, перебуває на початковій стадії розробки й представляється складним і коштовним.

Нанесення мідного покриття на поверхню алюмінієвої деталі без її перегріву и утворення крихких інтерметалідів є більш ефективним і доступним порівняно зі зварюванням цих двох матеріалів, а достатня міцність зчеплення покриття з основою була забезпечена оптимальними параметрами режиму. Це досягається технологією розпилення низькотемпературною плазмою стандартного електродного дроту за рахунок формування та перенесення на оброблювану поверхню високошвидкісного потоку дрібнодисперсних частинок

в рідкому стані і формування шару покриття необхідної товщини. В процесі напилення температура виробу не перевищує 250 °С, що запобігає утворенню інтерметалідних з'єднань.

Однак є необхідним визначення контактного опору між напиленими міддю алюмінієвими поверхнями та мідною шиною для обґрунтованого використання з'єднань такого типу в енергетичній промисловості.

2.2 Дослідження міцності зчеплення

Однією з основних характеристик, що визначають якість покриття, є міцність його зчеплення з основою, яка сильно залежить від швидкості осадження матеріалу [12].

Міцність зчеплення покриття з основою – це умовне напруження, яке відповідає найбільшому навантаженню, що передуює відокремленню покриття від основи ($\sigma_{зч}$).

Значення міцності зчеплення покриття з основою, яке експериментально визначається за існуючими методиками, є результатом механічної взаємодії деформованих напилених частинок із матеріалом основи, хімічних зв'язків матеріалів покриття й основи, а також дії сил Ван-дер-Ваальса (останні відіграють незначну роль у загальному балансі сил).

Існує більше 40 способів визначення міцності зчеплення покриттів, але вони або не дають якісних показників, або надто є надто складними. Серед них найбільш простим і точним є метод штифтової проби.

Зразком є шайба, в отвір якої встановлюється циліндричний або конічний штифт.

Штифт встановлюють у конічний отвір шайби та фіксують через бокову поверхню шайби гвинтом. При цьому торцева поверхня штифта перебуває врівень із поверхнею шайби.

На загальну поверхню зразка після відповідної попередньої обробки наносять покриття. Після охолодження зразка фіксуючий гвинт викручують. Випробування проводять витягуванням штифта з конічного отвору з визначенням зусилля. Кількісною характеристикою міцності зчеплення покриття з основою є відношення максимального навантаження до площі торця штифта.

Розрізняють чотири види руйнування покриття у разі відривання конічного штифта від шайби: «чисте» відривання, проривання покриття, змішане руйнування, внутрішнє руйнування.

Штифтова методика на має обмежень за величиною міцності зчеплення покриття з основою. Проте має суттєві недоліки, які нині унеможливають стандартизацію й уніфікацію цього методу випробувань. Основними недоліками вважають: складність виготовлення та припасування зразків; вплив контактної взаємодії елементів зразка на точність вимірювання; чутливість результатів вимірювання до напрямку зусилля відривання відносно осі симетрії зразка; вплив пористості на розкид значень міцності; обмеження на мінімальну товщину покриття, що випробується а також відсутність єдиного стандарту на розміри штифта для досліджень.

Міцність зчеплення напиленого шару з основою забезпечується в основному силами адгезії і когезії. До цих пір у всіх літературних джерелах вказують, що руйнування має когезійно-адгезійний характер, але ніхто не вказує, яка величина частки тієї чи іншої складової. В деяких випадках дія адгезії може виявитися сильніше, ніж дія когезії, і тоді руйнування носить когезійний характер. Для створення більш міцного зчеплення потрібно прагнути отримати такий результат. Тому представляє інтерес визначити процентне співвідношення цих складових, що дасть можливість більш точної оцінки міцності покриття. Розміри, швидкість і температура напилюваних плазмою частинок впливають на кінетику формування як самого покриття, так і контактної зони між покриттям і основою, визначаючи його якість. Ці показники залежать від умов теплообміну з напилюваними порошковими або

дротяними матеріалами, і є результатом теплового і силового впливу високотемпературного плазмового струменя.

2.3 Металографічні дослідження міжфазної зони

В наш час практично немає даних та методики дослідження мікроструктури перехідної зони між напиленим шаром та напилюваною поверхнею. Її дослідження дає змогу збагнути модель та механізм зчеплення напилюваних часток з різним хімічним складом та властивостями з поверхнею деталі, перевірити можливість утворення інтерметалідів в перехідному шарі.

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 по одному зрізу кожної металічної пари, для подальшого проведення досліджень.

Для забезпечення правильної обробки поверхні зразків, кожен зразок було зафіксовано в спеціальний пристрій для механічного оброблення – струбцину. 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 у всіх випадках неможливе без підготовки на його поверхні гладкої площадки, яку називають шліфом. 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 різномірної 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 був обраний реактив Рейна.

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

Реактив Рейна представляє собою 5 г аміачного розчину спирту CuSO_4 . Для травлення готують розчин і занурюють зразок від 10 секунд до 30 секунд після чого ретельно промивають його дистильованою водою. Специфіка процесу травлення полягає в тому, що для того, щоб отримати якісну карту поверхні необхідно виконати кілька циклів травлення, виконуючи між ними полірування поверхні шліфа. На дослідних зразках було проведено від 3 до 5 циклів травлення.

2.4 Техніка дробоструминної обробки напилюваної поверхні

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

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

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

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

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

Для підготовки поверхні виробу під плазмове напилення покриттів використовується чавунна колота дріб ДЧК (рис. 2.1) з номінальним розміром 1,6 мм згідно з ГОСТ 11964-81.



Рисунок 2.1 - Зовнішній вигляд дробу марки ДЧК 1,6 × 10

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

Вибір марки матеріалу дробу між сталлю і чавуном, здійснюється у користь останньої у зв'язку з тим, що чавунна дріб має більшу твердість ніж сталева (табл. 2.1), що дозволяє їй заглиблюватися на більшу відстань в поверхню підкладки, формуючи сприятливий мікрорельєф оброблюваної поверхні.

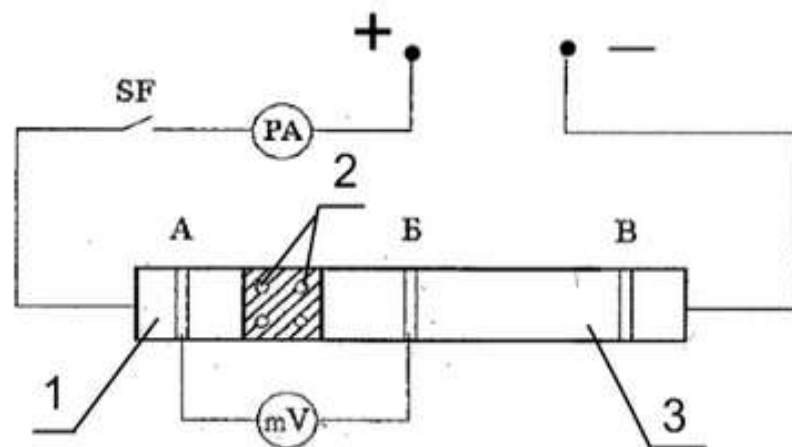
Таблиця 2.1 - Фізико-механічні властивості дробу

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

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

2.5 Визначення контактної опору напиленого шару

Визначення контактної опору з'єднання напилених зразків з мідною шиною здійснювалося за методом падіння напруги, сутність якого полягає в наступному: контактне падіння напруги вимірюється на постійному струмі при номінальному значенні для ділянок шин, що з'єднуються (рис. 2.1) [13].



Умовні позначки:

1 – напилена алюмінієва пластина;

2 – болти;

3 – мідна пластина.

Рисунок 2.1 – Принципова схема стенду для вимірювання контактної опору

Напилена алюмінієва пластина 1 кріпилася чотирма болтами 2 до мідної пластини 3 товщиною 6 мм і розміром 50 мм х 450 мм, які підключалися до джерела постійного струму, величина якого підтримувалася рівною 5 А.

Зусилля затягування болтів контролювалося з допомогою механічного динамометричного ключа фірми «GEDORE» DREMOMETER від 6 Н·м до 30 Н·м, арт. 7775870, тип 8559 – 01, модель AML, з похибкою $\pm 3 \%$.

Падіння напруги вимірювалося за допомогою мілівольтметра М20331/1 згідно ГОСТ 7324–80 на ділянці А – Б довжиною 145 мм та порівнювалося з падінням напруги на ділянці Б – В такої ж довжини.

При цьому досліджували як змінюється контактний опір поверхні після напилення і після механічної обробки її з допомогою абразивного круга.

3 ВПЛИВ ПІДГОТОВКИ ПОВЕРХНІ ТА ТОВЩИНИ НАПИЛЕННОГО ШАРУ НА МІЦНІСТЬ ЗЧЕПЛЕННЯ ТА КОНТАКТНИЙ ОПІР З'ЄДНАННЯ

3.1 Міцність зчеплення

Міцність зчеплення нанесеного покриття визначалася методом штифтової проби, при цьому діаметр штифту складав 6,6 мм.

Встановлено, що зі збільшенням товщини напиленого шару від 0,2 мм до 0,9 мм міцність зчеплення покриття з основою збільшується від 4,7 МПа до 8,0 МПа при $Ra = 16,6$ і від 4,4 МПа до 4,8 МПа при $Ra = 9,3$ (рис. 3.1).

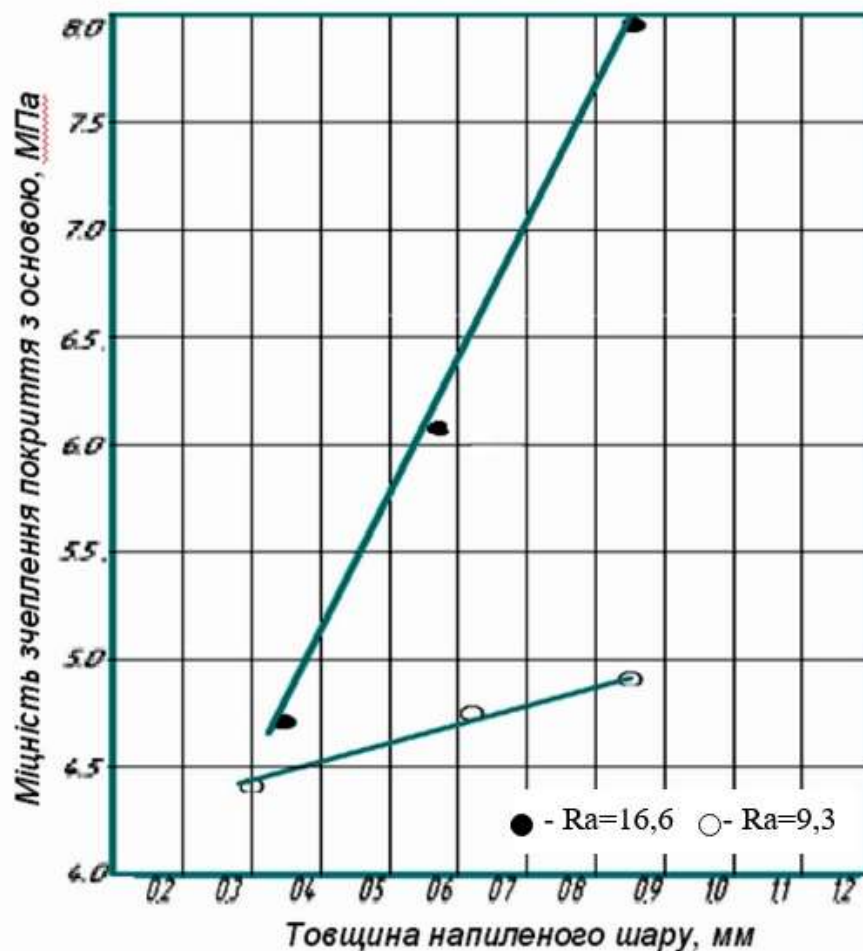


Рисунок 3.1 – Залежність міцності зчеплення покриття з основою від товщини напиленого шару та шорсткості поверхні

Це пояснюється збільшенням фактичної контактної поверхні основи при більшому розмірі дробу та зростанням когезійної міцності напилюваного матеріалу. Тому для подальших досліджень підготовку поверхні проводили з використанням дробу ДЧК 1,6 мм для надання поверхні шорсткості $Ra = 16,6$.

Напилення міді на алюміній проводили з використанням алюмінієвого штифта діаметром 6,6 мм, а товщина нанесеного мідного покриття змінювалася від 0,2 мм до 4 мм. Встановлено, що в цьому випадку і величина зусилля відриву і міцність зчеплення змінюються однаково. Зі збільшенням товщини покриття від 0,2 мм до 1 мм ці значення зростають, у діапазоні товщин від 1 мм до 3 мм залишаються незмінними, після чого різко знижуються досягаючи мінімуму при товщині 4 мм (рис. 3.2).

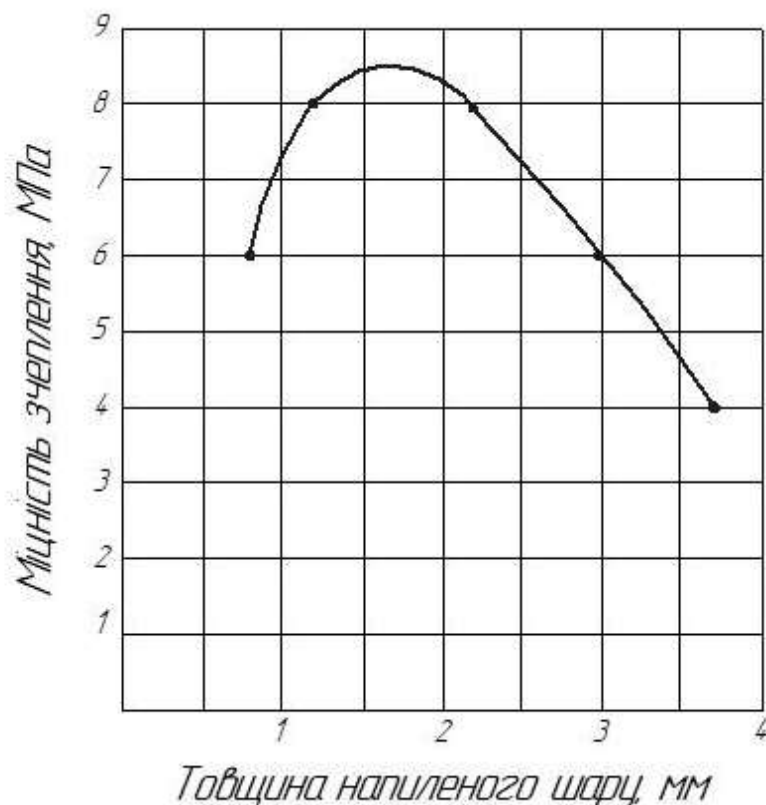


Рисунок 3.2 – Залежність міцності зчеплення алюмінію з міддю від товщини напиленого шару

У той же час руйнування відбувається, як правило на межі розділу мідь-алюміній, так що частка когезійної складової менше одного відсотка (рис. 3.3). Можна вважати, що для цієї пари матеріалів руйнування буде носити майже адгезійний характер внаслідок утворення інтерметалідних сполук типу Al_mCu_n , а зі збільшенням товщини напиленого шару ця тенденція зростає внаслідок збільшення термічних напружень.

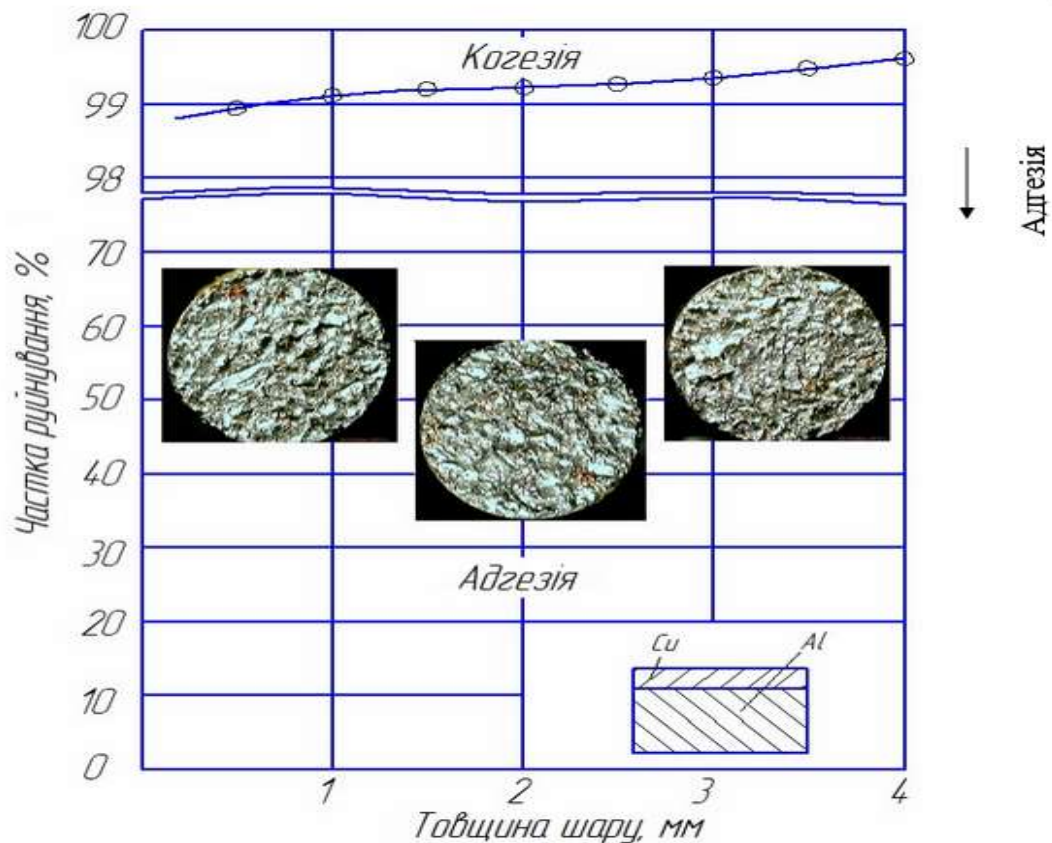


Рисунок 3.3 – Характер руйнування напиленого шару міді на алюмінії в залежності від його товщини

Інтерметалідні фази цієї системи являють собою самостійний інтерес – серед них можна знайти речовини з високим електричним опором, надпровідністю і т.п. З діаграми стану Al – Cu (рис. 3.4) випливає, що в цій системі існує ряд хімічних з'єднань, стійких при кімнатній температурі: θ -фаза (Al_2Cu), η -фаза ($AlCu$), ξ_2 -фаза, δ -фаза (Al_2Cu_3), γ_2 -фаза ($AlCu_2$), χ -фаза (Al_4Cu_9). Хімічний та фазовий склад сплавів системи Al – Cu наведений в таблиці 3.1 [14].

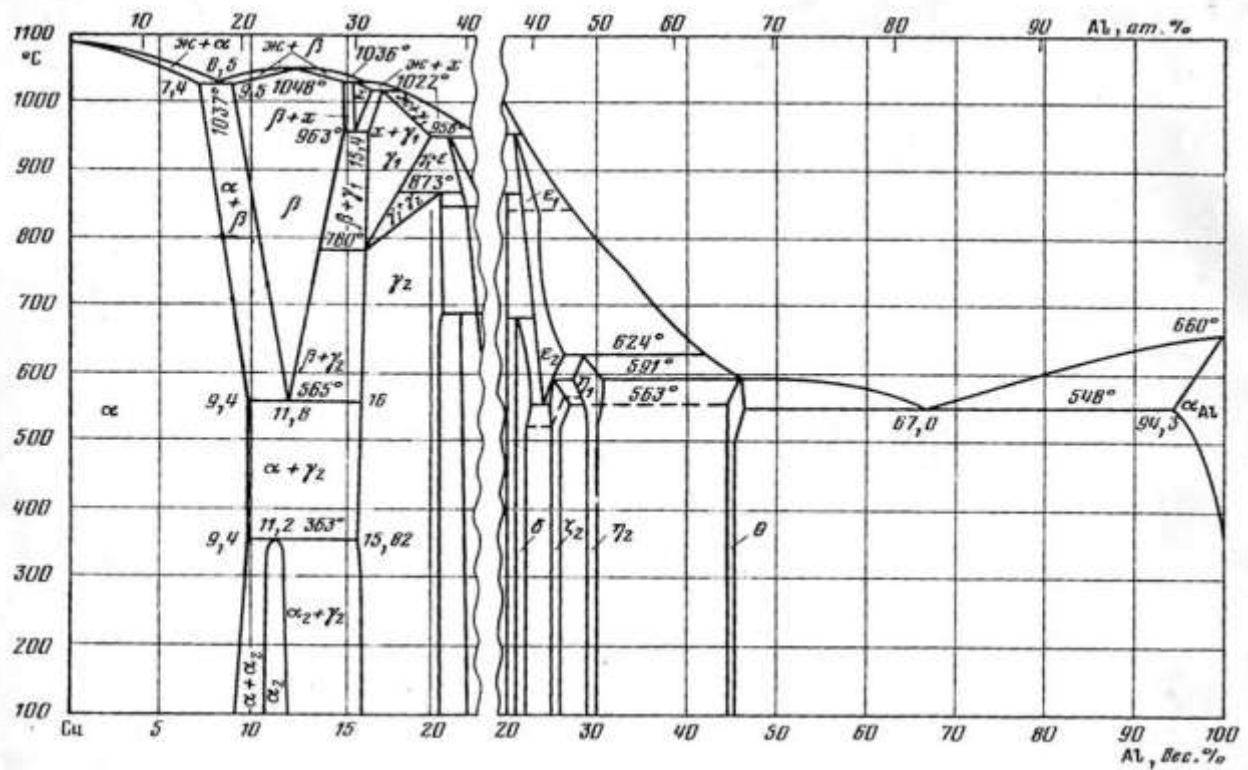


Рисунок 3.4 - Діаграма стану системи мідь – алюміній

В літературі майже немає даних про властивості інтерметалідів системи Al – Cu. Відомо лише, що вони мають велику твердість та крихкість, які значно ускладнюють їх обробку та вивчення.

В таблиці 3.1 надані хімічний та фазовий склад сплавів системи Al – Cu.

Таблиця 3.1 – Хімічний та фазовий склад сплавів системи Al – Cu

Фазовий склад згідно з діаграмою	Розрахунковий вміст міді в шихті, ваг. %	Вміст міді в сплавах, ваг. %	Фазовий склад
AlCu_3 (β)	87,5	86,12	AlCu_3
Al_4Cu_9 (χ)	85	84,63	Al_4Cu_9
AlCu_2 (γ_2)	82	81,87	AlCu_2
ϵ_2	76,5	76,65	Типу AlCu
AlCu_3 (δ_2)	78,5	77,34	Типу AlCu
ξ_2	75	74,0	Типу AlCu
AlCu (η)	71	69,46	Типу AlCu
Al_2Cu (θ)	53,5	53,30	Al_2Cu

Мікротвердість всіх виплавлених сплавів значно вище, ніж алюмінію та міді. Так, мікротвердість сплаву AlCu_3 (приблизно 6000 МПа) майже в 6 разів більше, ніж міді, і в 20 разів більше, ніж алюмінію. Мікротвердість більшості фаз коливається від 5000 МПа до 11500 МПа.

Властивості міцності визначалися при випробуваннях на розтягнення та стискання (3-5 вимірювань). Досліджувався характер трьох зразків – фаз ϵ , η та θ . Руйнування всіх трьох сплавів відбувалося крихко. Міцність сплавів AlCu_3 та Al_4Cu_9 достатньо висока – вони не зруйнувалися. Міцність інших фаз, за виключенням θ -фази, коливається від 10 МПа до 15 МПа. Міцність θ -фази при кімнатній температурі найменша і складає приблизно 5 МПа. Таким чином, сплави, які відповідають інтерметалідних фазам, багатим на алюміній, мають міцність до 6 разів нижче ніж алюміній. Крихкість таких матеріалів пояснюється їх складною кристалічною будовою і підвищеним накопиченням дислокацій.

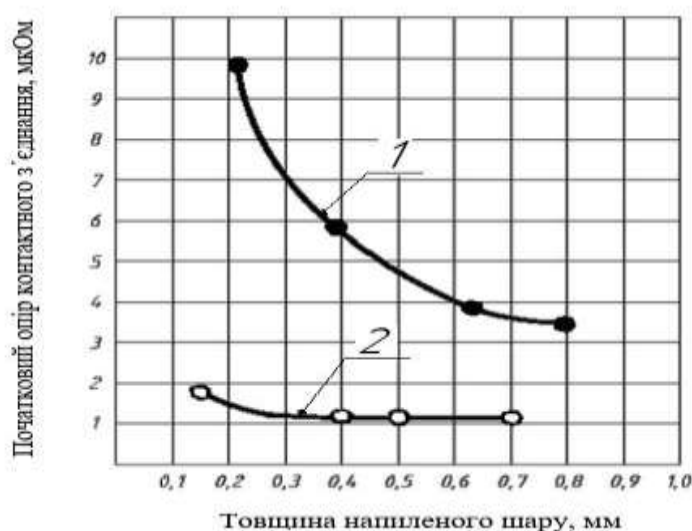
Можна припустити, що при нанесенні шару міді на масивну теплопровідну алюмінієву деталь міцність зчеплення буде вище внаслідок зменшення температури в зоні контакту $\text{Al} - \text{Cu}$ через підвищене тепловідведення в алюмінієву деталь.

Як і в попередньому випадку, при напиленні шару бронзи БрКМц 3 – 1 зберігається тенденція до зростання міцності зчеплення напиленого шару в міру збільшення його товщини, а по досягненні максимального значення цей показник зменшується внаслідок дії термічних напружень (рис. 3.2). Однак міцність зчеплення покриття вище внаслідок більш близьких розмірних і енергетичних характеристик основ цих сплавів. Характер руйнування зони цієї різнорідної пари матеріалів також майже не залежить від товщини напиленого шару, але для адгезійної складової знаходиться на більш високому рівні близько 33 %, у порівнянні з парою $\text{Al} - \text{Cu}$.

3.2 Контактний опір

Питомий електроопір вимірювався по схемі подвійного мосту Р-239 постійним струмом. Цей метод дає можливість виміряти опір в межах від 10^{-6} Ом до 10^2 Ом. Всі сплави мають значно більший опір, ніж вихідні компоненти. Наприклад, питомий опір θ -фази, яка завжди утворюється при взаємодії алюмінію з міддю, майже в 6 разів більше, ніж алюмінію. Електроопір для більшості фаз, за виключенням фази δ_2 , знаходиться на рівні від $0,1 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$ до $0,18 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$.

Оскільки плазмові технології широко використовуються для напилення електропромислових деталей, доцільним є визначення контактної опору поверхні після напилення і її механічної обробки за допомогою абразивного круга. Встановлено, що в обох випадках зі збільшенням товщини напиленого шару контактний опір знижується, особливо на зразках з необробленою поверхнею (рис. 3.5) хоча після механічної обробки поверхні зниження контактної опору несуттєве.



1 – до обробки напиленого шару;

2 – після обробки напиленого шару.

Рисунок 3.5 – Залежність початкового опору контактного з'єднання від товщини та ступеню обробки поверхні напиленого шару

В свою чергу механічна обробка напиленого шару дозволяє значно знизити величину контактного опору за рахунок збільшення фактичної площі контактуючих поверхонь.

Згідно ГОСТ 10434–82 початковий опір контактної з'єднання шин повинен бути в межах від 4 мкОм до 80 мкОм, а при безпосередньому болтовому з'єднанні алюмінієвої та мідної шин його величина складає 200 мкОм. Так як, контактний опір наконечника одразу після напилення задовольняє вимогам ГОСТу і складає приблизно 4 мкОм (див. рис. 3.5), то немає необхідності проводити механічну обробку напиленого шару, яка збільшує час виготовлення наконечників і як наслідок їх вартість.

В процесі експлуатації можливе послаблення болтових з'єднань, внаслідок чого допускається зростання падіння напруги не більше ніж в 1,5 – 1,8 разів, після чого воно підлягає ревізії. Таким чином, зі збільшенням товщини напиленого шару і зменшенням ступеня шорсткості напиленої поверхні початковий опір контактної з'єднання зменшується.

3.3 Мікроструктура перехідної зони

Як правило, напилений псевдосплав має характерну 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 міжфазна міцність на кордоні розподілу основа-напилений шар, при недостатній величині якої захисні властивості покриття будуть втрачені від впливу зовнішнього середовища.

Звертає на себе увагу те що, покриття абсолютно щільно прилягає до поверхні основи, повторюючи всі її мікронерівності, як наявні на вихідній

поверхні алюмінієвої підкладки, так і ті що виникли при високошвидкісному впливі плазмового струменя (рис. 3.6, а).

При напиленні матеріалом зовсім іншого складу в порівнянні з основою, наприклад, мідь на алюміній (див. рис. 3.6, а), межа з'єднання характеризується чітким інтерметалідним прошарком різної товщини зі стрибком величини мікротвердості (рис. 3.6, б).

На (рис. 3.6, б) видно, що в глибині основи мікротвердість у всіх випадках практично відповідає стандартній величині для алюмінієвого сплаву і починає зростати лише в прикордонній області за рахунок впровадження мідного матеріалу.

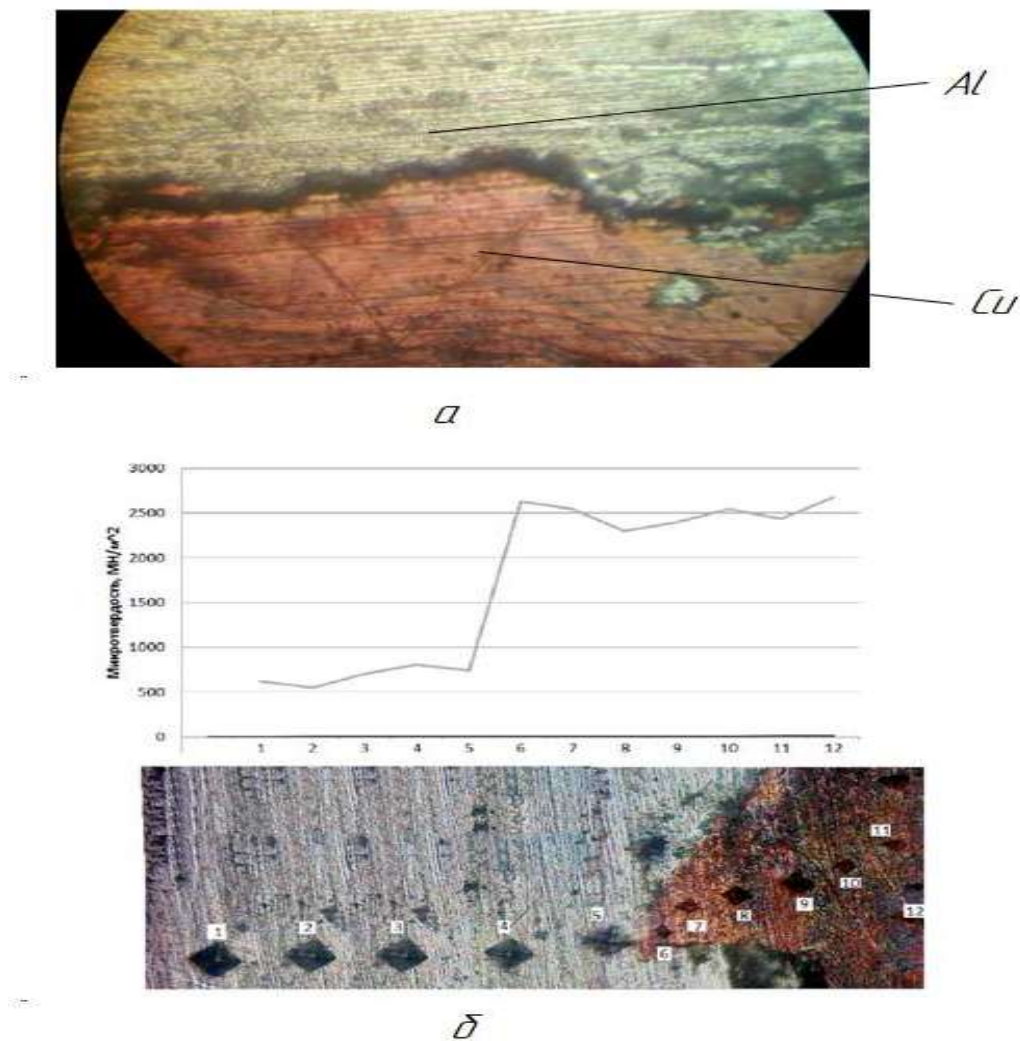


Рисунок 3.6 – Структура зони з'єднання напиленого шару міді на алюміній (а) і зміна мікротвердості на границі розподілу алюміній-мідь (б)

В цьому випадку слабким місцем виявляється границя розподілу осново-напиленний шар, так що руйнування носить адгезійний характер, тому можна рекомендувати нанесення проміжного шару.

Наприклад, в авіа- та моторобудуванні така технологія використовується при плазмовому напиленні на деякі деталі тракту газової турбіни спеціального теплозахисного шару, напиленого плазмою порошкоподібними матеріалами. Спочатку на робочу поверхню деталі зі складнолегованого сплаву марки ХН70ВМТЮБ наноситься проміжків підшар порошком ПН70Ю30 (70 % Ni + 30 % Al), після чого напилюється основний робочий теплозахисний шар порошком ПЦПК63Н30 (70 % ZrO₂ + 30 % Ni).

Проведено дослідження міцності і характеру руйнування таких плазмових покриттів, нанесених порошкоподібними матеріалами.

Досліджені порошки наносились на попередньо підготовлену шорстку поверхню (від 30 мкм до 35 мкм) поверхню зразків штифтової проби на сталі Ст3 плазмотроном МЕТСО 9МС на оптимальному режимі так, щоб товщина напиленого шару в усіх випадках дорівнювала приблизно 0,9 мм.

3.4 Розробка технології напиленні міді на алюмінієві струмоведучі наконечники

Технологія газотермічного напилення покриттів включає три основних етапи: підготовку поверхні напилюваного виробу, напилення та обробку напиленого покриття. Після напилення проводиться контроль якості напиленого виробу.

3.4.1 Підготовка поверхні

Однією з найважливіших характеристик якості покриттів є міцність зчеплення з основним матеріалом виробу, високий рівень якої досягається не тільки за оптимальних умов напilenня, а й за рахунок відповідної підготовки напильованої поверхні (видалення забруднень і активація поверхні основи для усунення бар'єрів, що перешкоджають контакту напильованих частинок і поверхневого шару основи).

Перед напilenням поверхню струмоведучих наконечників піддають дробоструминній обробці з метою активації поверхні і видалення різних забруднень, оксидів. Обробку деталі здійснювати тільки по напильованій поверхні.

Шорсткість поверхні після обробки повинна знаходитися в межах R_z від 80 мкм до 90 мкм згідно з ГОСТ 2789–73.

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.

Дробоструминну обробку виконують у ручній кабіні BNP – 601 (рис.3.7) яка дозволяє виконувати дробоструминну очистку малих та середніх деталей. Обробку здійснювати згідно з режимом, зазначеним в таблиці 3.2.



Рисунок 3.7 – Кабіна BNP – 601 для дробоструминної обробки

Таблиця 3.2 – Режими дробоструминної обробки

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

Після дробоструминної обробки здійснюють контроль виробу. Поверхня повинна мати рівномірну шорстку конфігурацію з відсутністю ділянок не оброблених дробом.

Після проходження контролю деталь обдувають стислим повітрям для видалення частинок дробу, 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 годин.

3.4.2 Плазмове напилення струмоведучим дротом

Після дробоструминної обробки деталі поступають на ділянку плазмового напилення покриттів, де її встановлюють в установку плазмового напилення.

Потім використовуючи значення параметрів режиму представлених в табл. 3.3, виконують налаштування установки для напилення:

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

8. Виконати напилення мідного шару на наконечники товщиною 1 мм.

Оператор за допомогою гашетки на супорті токарно-гвинторізного верстату переміщує плазмовий струмінь відносно осі деталі в необхідне положення.

Параметри режиму плазмового напилення представлені у таблиці 3.3

Таблиця 3.3 – Параметри режиму плазмового напилення

Параметр	Значення
Діаметр дроту $d_{\text{дріт}}$, мм	1,2
Діаметр вольфрамового електроду d_w , мм	3,0
Зварювальний струм $I_{\text{зв}}$, А	170
Напруга на дузі U , В	65
Витрата аргону $Q_{\text{Аг}}$, л/хв	30
Витрата повітря $Q_{\text{пов}}$, м ³ /год	16,5

3.4.3 Контроль якості напиленого виробу і методи усунення дефектів

Можливими дефектами плазмового способу нанесення покриттів є відшаровування напиленого шару, розтріскування покриття, поява на поверхні крапель міді, а також різнотовщинність покриття (вище за допустиму). Причини утворення цих дефектів і способи їх усунення приведені в табл. 3.3.

У процесі контролю якості напилювання струмоведучих наконечників контролер здійснює візуальний огляд напилюваної поверхні на наявність відшаровування напиленого шару, розтріскування покриття, появи на поверхні покриття крапель міді.

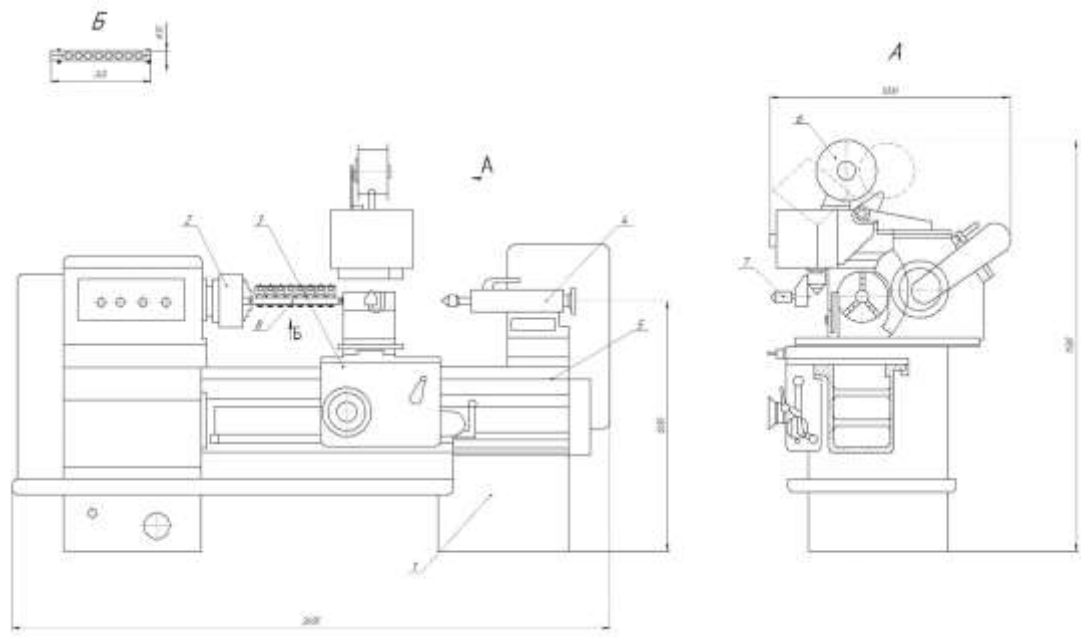
Різнотовщинність визначають використовуючи вимірювальний інструмент - мікрометр, також в процесі контролю необхідно виміряти твердість за шкалою Роквелу HRC, використовуючи універсальний ручний твердомір моделі Т – УДЗ.

Таблиця 3.3 – Можливі дефекти плазмового способу нанесення покриттів та методи їх усунення

Дефект	Причини	Способи усунення
Відшаровування напилюваного шару	Неправильно підготовлена конфігурація напилюваної ділянки, незадовільна якість підготовки поверхні (наявність жирових плям, мала шорсткість, наявність вологи або олії в стислому повітрі і т.п)	Видалити дефектне покриття, підготувати конфігурацію напилюваної ділянки відповідно до вимог. Видалити дефектне покриття, ввести операцію напилювання підшару.
Розтріскування покриття	Високі внутрішні нап-руження 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.

3.5 Обладнання для здійснення процесу плазмового напилення

Напилення струмоведучих наконечників здійснюється на спеціалізованій установці, змонтованій на базі токарно-гвинторізного верстата з плавним регулюванням швидкості обертання виробу і залежним переміщенням плазмотрона відносно твірної виробу (рис. 3.8).



1 – станина; 2 – патрон; 3 – супорт переміщення плазмотрону; 4 – задня бабка верстата; 5 – напрямна переміщення супорта; 6 – котушка з дротом;
7 – плазмотрон; 8 – касета з наконечником.

Рисунок 3.8 – Установка для напилення струмоведучих наконечників

Наконечники перед напиленням закріплюються у спеціальній касеті 8, яка затискається в патроні 2 токарно-гвинторізного верстату. Касета 8 має круглий перетин (рис. 3.9) і складається з двох пів кіл з пазами для встановлення наконечників. Після встановлення наконечників касета закріплюється болтами.

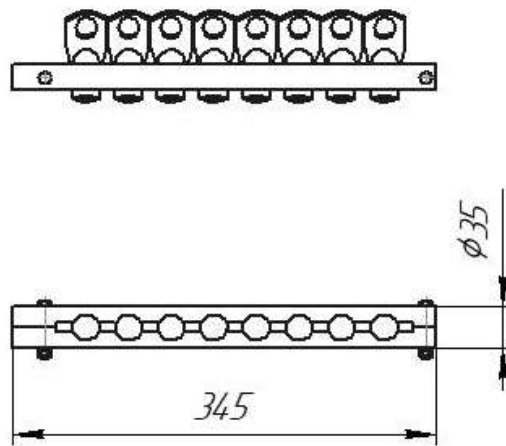


Рисунок 3.9 – Касета для наплення струмоведучих наконечників

Потім виставляють дистанцію наплення і кут нахилу плазмотрону 7 на супорті 3 верстату.

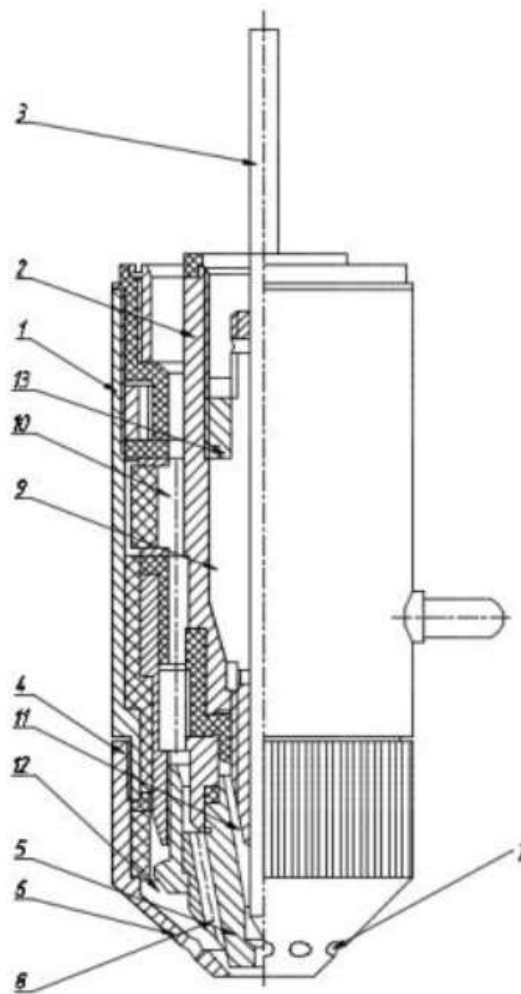
На панелі управління плазмотроном виставляють необхідні режими наплення, відкривають подачу плазмоутворюючого газу. Потім включають витяжну вентиляцію і здійснюють пробне наплення.

Для подачі дроту на зріз плазмотрону використовується механізм подачі зварювального напівавтомата А – 765. В якості джерела живлення чергової і плазмової дуги використовують модернізований зварювальний випрямляч типу ВДУ-506У3 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. 3.10) підприємства «Плазматех» [15], який забезпечує надійне фокусування плазмової струмини і, як наслідок, підвищення коефіцієнта використання матеріалу, який наплюють, зменшення зносу внутрішнього та зовнішнього сопел і підвищення ступеня використання енергії плазмової струмини.

Електродний плазмотрон складається з корпусу 1, у якому співвісно встановлені електродотримач 2, стрижньовий катод 3, закріплений у електродотримачі 2 з можливістю переміщення вздовж вертикальної осі плазмотрона, зовнішнє сопло 4 для підведення захисного газу та внутрішнє сопло 5 для утворення плазми. Нижня частина 6 зовнішнього сопла 4 виконана конічною і споряджена отворами 7. Внутрішнє сопло 5 споряджене каналами 8, виконаними під кутом $8^{\circ} - 14^{\circ}$ до вертикальної осі плазмотрона.



1 – корпус; 2 – електродотримач; 3 – стрижньовий катод; 4 – зовнішнє сопло; 5 – внутрішнє сопло; 6 – нижня частина сопла; 7 – отвори; 8 – канали; 9 – порожнина; 10 – порожнина; 11 – зазор; 12 – зазор; 13 – затискна цанга.

Рисунок 3.10 – Електродуговий плазмотрон

Отвори 7 виконані на відстані від нижнього торця зовнішнього сопла 4, яка дорівнює від 0,2 до 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 $Q_{пл}$ та захисного $Q_{зах}$ 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 0,3 довжини твірної його конічної частини 6, у сукупності з відомими ознаками дозволяє забезпечити надійне фокусування плазмової струмینی, стабільне горіння дуги. Це дає можливість підвисити коефіцієнт використання матеріалу, який напильюють, зменшити знос внутрішнього та зовнішнього сопел, підвистити ступінь використання енергії плазмової струмینی. Покриття, яке напильюється електродуговим плазмотроном цієї конструкції, відрізняється високою якістю та стабільними фізико-механічними характеристиками.

4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ ДІЛЬНИЦІ ПЛАЗМОВОГО НАПИЛЕННЯ

4.1 Опис ідеї проекту

Газотермічне напилення нині є високотехнологічною галуззю світової економіки з річним обігом близько 5 млрд. доларів. Ця технологія набула широкого спектру використання у машино- та авіабудуванні, електроніці, радіо- та приборобудуванні, ракетобудуванні, медицині. У розвинених країнах (США, Німеччина, Франція, Японія) темп зростання складає від 5 % до 7 %, в Індії від 15 % до 17 %, в Китаї – 20 %.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для споживачів (користувачів)
Плазмове відновлення алюмінієвих струмо- підводів шаф керування міддю	Електроніка, приборо- будування, авіа- , ракето- та машинобудування, медицина, хімічна, нафтова та вугільна промисловість	Використання нової технології призводить до зниження собівартості покриття

В межах завдання було проаналізовано характеристику потенційного ринку, яку відображено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Попередня характеристика потенційного ринку

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Головні конкуренти	FAST ENERGY GRC
2	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Швидко зростає
3	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Недостатня якість продукції
4	Специфічні вимоги до стандартизації та специфікації	Відповідність ISO 9001 на виробництво багато-функціональних покриттів методами газо-термічного 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 дає змогу візуалізувати картину взаємозв'язків зацікавлених фізичних юридичних осіб. На рисунку 4.1 зображена карта стейкхолдерів.

**Рисунок 4.1** – Карта стейкхолдерів

На карті стейкхолдерів відображено взаємодія фізичних та юридичних осіб, що мають легітимний інтерес у діяльності організації. Залежні зацікавлені

сторони формально ініціатору проекту 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 проекту.

4.2 Технічне нормування операцій

Для проектування ділянки напилення для даного технологічного процесу необхідно:

- пронормувати операції технологічного процесу;
- встановити готову виробничу програму виробів;
- розрахувати кількість обладнання та виробничу площу ділянки;
- розрахувати чисельність персоналу.

Норми часу на процес напилення касети із 8 шт. струмоведучих наконечників представлені в табл. 4.3

Таблиця 4.3 – Технічне нормування операцій

№ Операції	Найменування операції	Норма штучного часу за базовою технологією, н/год	Норма штучного часу за новою технологією, н/год
5	Дробоструминна обробка	0,36	0,36
10	Плазмове напилення	0,15	0,10
15	Контроль якості	0,40	0,40
Всього		0,91	0,86

На основі розрахованих норм часу по виготовленню виробів встановлюємо річну виробничу програму виробів у штуках (табл. 4.4)

Таблиця 4.4 – Виробнича програма виробу за рік

Найменування виробу	Норма часу на 8 одиниць виробу, н/год	Виробнича програма	
		Комплектів (8 шт. в комплекті)	н/год
За базовою технологією	0,91	3000	2730
За новою технологією	0,86	3000	2580

4.2.1 Розрахунок кількості обладнання, площі ділянки

Розрахунок необхідної кількості обладнання по кожному типу ведеться за формулою:

$$G_0 = \sum_{i=1}^m \frac{t_i \cdot N_i}{F_{\text{до}}}, \text{ одиниць} \quad (4.1)$$

де G_0 – кількість обладнання за розрахунком, одиниць;

m – кількість видів робіт;

t_i – норма часу i -тої операції, нормо-годин;

N_i – річна виробнича програма i -того виробу, одиниць;

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

Прийнята кількість обладнання встановлюється шляхом округлення до цілої величини $G_{\text{пр}}$. Коефіцієнт завантаження обладнання визначається за формулою:

$$K_3 = \frac{G_o}{G_{\text{пр}}} \quad (4.2)$$

де $G_{\text{пр}}$ – прийнята кількість обладнання, одиниць.

На машинобудівних заводах найбільш поширеним є однозмінний режим роботи при п'ятиденному робочому тижні – 40 годин.

Тривалість робочої зміни – 8 годин.

Номінальний річний фонд часу роботи обладнання при однозмінному режимі – 2080 годин.

Дійсний річний фонд часу роботи устаткування визначається за формулою:

$$F_{\text{до}} = F_{\text{ном}}(1 - K_{\text{в}}), \text{ годин} \quad (4.3)$$

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

$K_{\text{в}}$ – коефіцієнт витрат часу на ремонт та обслуговування обладнання, $K_{\text{в}} = 0,1$.

$$F_{\text{до}} = 2080(1 - 0,1) = 1872 \text{ годин}$$

Для виконання технологічного процесу плазмового напилення струмоведучих наконечників необхідно наступне обладнання: установка плазмового напилення, установка дробоструминної обробки. Усі розрахунки по обладнанню наведені в табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Розрахунок кількості обладнання та його потужності

Найменування обладнання та модель	Кількість обладнання		Коефіцієнт завантаження	Потужність кВт/год.	
	за розрахунком	прийнята		одиниці	усього
Установка дробоструминної обробки	0,58	1	0,58	40	40
Установка плазмового напилення	0,16	1	0,16	47	47
Всього	0,74	2	-	-	87

Низький коефіцієнт завантаження обладнання пояснюється тим що на даній ділянці окрім наконечників виконують напилення інших деталей.

Виробнича площа ділянці розраховується виходячи з кількості обладнання, робочих місць та питомої площі з додавання 20 % (проходи, проїзди та інше). Площа ділянці $9 \times 12 = 108 \text{ м}^2$.

4.2.2 Розрахунок чисельності персоналу ділянці

Чисельність основних виробничих робітників ділянці на нормованих роботах розраховується по операціям згідно з розрядами і професіями за формулою:

$$G_0 = \sum_{i=1}^m \frac{t_i \cdot N_i}{F_{\text{др}}}, \text{ одиниць} \quad (4.4)$$

де R_0 – чисельність основних виробничих робітників;

m – кількість видів робіт;

t_i – норма часу i -тої операції, нормо-годин;

N_i – річна виробнича програма i -го виробу, одиниці;

$F_{др}$ – дійсний річний фонд часу роботи одного робітника, годин;

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

Дійсний річний фонд часу роботи робітника визначається за формулою:

$$F_{др} = F_{ном}(1 - h), \text{ год.} \quad (4.5)$$

де $F_{ном}$ – береться для однозмінного режиму 2080 год.

h - плановий коефіцієнт невиходів робітників на роботу (0,12...0,15)

$$F_{др} = 2080(1 - 0,12) = 1830,4 \text{ год.}$$

Чисельність допоміжних робітників по професіям розраховується за нормами обслуговування обладнання.

Чисельність керівників і фахівців ділянки (майстер, технолог) розраховують за штатним розкладом.

Розраховуємо чисельність операторів установки плазмового напилення:

$$G_0 = \frac{0,10 \times 3000}{1830,4} = 0,16 \sim 1 \text{ чол.}$$

Розраховуємо чисельність операторів установки дробоструминної обробки:

$$G_0 = \frac{0,36 \times 3000}{1830,4} = 0,59 \sim 1 \text{ чол.}$$

Загальна чисельність персоналу дільниці наведена в таблиці 4.6

Таблиця 4.6 – Загальна чисельність персоналу

Персонал	Чисельність персоналу, чол.	У т.ч за розрядами						В т.ч. за змінами	
		I	II	III	IV	V	VI	I	II
1. Основні робітники:									
оператор установки плазмового напилення	1				1			1	
Оператор установки дробоструминної обробки	1					1		1	
Всього	2				1	1		2	
2. Допоміжні робітники:									
контролер	1				1			1	
наладчик	1				1			1	
Всього	2				2			2	
3. Керівники та спеціалісти:									
майстер	1							1	
технолог	1							1	
Всього	2							2	
Разом	6							6	

4.3 Планування витрат на виробництво

У даному підрозділі розраховано заплановані матеріальні витрати на основні засоби, фонд оплати праці персоналу, складено калькуляція собівартості продукції.

4.3.1 Матеріальні витрати

Вартість основних і додаткових матеріалів розраховується на основі норм використання та цін. Крім того, необхідно враховувати транспортно-заготівельні витрати (від 5 % до 7 % від вартості матеріалів), та вартість оборотних відходів.

До додаткових матеріалів слід віднести ті матеріали, які споживаються для здійснення технологічного процесу плазмового напилення.

Розрахунок вартості додаткових матеріалів наведений в таблиці 4.7. Розрахунок вартості комплектуючих матеріалів наведений в таблиці 4.8.

Таблиця 4.7 – Розрахунок вартості додаткових матеріалів для напилення

Найменування матеріалу, марка, ГОСТ, розмір	Норма витрат		Ціна за 1 кг матеріалу, грн.	Вартість на програму, грн.
	На касету	На програму		
Дріт мідний, ГОСТ 16130-90	0,088 кг	264 кг	290	76560
Захисний газ, Ar, ДСТУ ISO 14175-2010	180 л	540000 л	0,1	54000
Всього	-	-	-	130560

Розрахунок вартості купівельних комплектуючих виробів та напівфабрикатів приведений у таблиці 4.8

Таблиця 4.8 – Розрахунок вартості купівельних комплектуючих виробів та напівфабрикатів

Найменування купівельних комплектуючих виробів та напівфабрикатів	Кількість у виробі, одиниць	Вартість за один., грн.	Річна кількість комплектуючих виробів та напівфабрикатів	Річна вартість комплектуючих з урахуванням транспортно- заготівельних витрат, грн.
Струмоведучий наконечник	0,05	100	375	39500
Змінне сопло	0,009	300	68	21500
Всього	-	-	-	61000

4.3.2 Вартість основних засобів

Вартість основних виробничих фондів передбачає такі розрахунки:

- вартість будівель визначається на основі розрахункової загальної площі (план ділянки) та вартості 1 м² будівель, 500 – 800 грн. за 1 м²;

$$V_{\text{буд}} = 108 \times 500 = 54000 \text{ грн.} \quad (4.6)$$

- вартість споруд складає 5% вартості будівель;

$$V_{\text{буд}} = 54000 \times 0,05 = 2700 \text{ грн.} \quad (4.7)$$

- вартість обладнання (приведена в табл. 4.9) з урахуванням транспортно-заготівельних витрат і монтажу (10-15%);

- вартість цінних інструментів, приладів, інвентарів (3-5% балансової вартості обладнання);

- вартість транспортних засобів (3% балансової вартості обладнання).

Таблиця 4.9 – Розрахункова вартість обладнання

Найменування обладнання	Ціна за одиницю, грн.	Кількість одиниць	Балансова вартість, грн.
Установка дробоструминної обробки	250000	1	275000
Установка плазмового напилення	400000	1	440000
Всього	650000	2	715000

Розрахунок вартості основних засобів, амортизаційних відрахувань, структури основних засобів наведено в табл. 4.10.

Таблиця 4.10 – Вартість основних засобів

Найменування основних засобів	Балансова вартість, тис. грн.	Структура, %	Термін експлуатації, років	Амортизаційні відрахування, грн.
Виробничі будівлі	54	12,6	45	1200
Споруди	2,7	0,6	30	90
Обладнання	715	80,3	20	35750
Транспортні засоби	21,45	2,4	15	1430
Цінні інструменти, прилади, інвентар	35,75	4,1	5	7150
Всього	828,9	100	-	45620

4.3.3 Розрахунок фонду оплати праці

Сума заробітної плати, яка виплачується працівникам підприємства, формує фонд оплати праці. Фонд заробітної плати розраховується за прийнятими формами і системами оплати праці. Оплата праці основних робітників здійснюється за відрядно-преміальною формою оплати праці; допоміжних робітників – за почасово-преміальною формою оплати праці; керівників та спеціалістів – по штатно-окладною формою оплати праці.

Плановані доплати і премії для робітників приймаємо в розмірі 50% від тарифної заробітної плати. Премії з прибутку складають для робітників – 15% до тарифної заробітної плати, для керівників і фахівців – 40%.

Розраховуємо тарифний фонд заробітної плати основних робітників за формулою:

$$З_{\text{тар}} = N \sum_{i=1}^m P_i \quad (4.8)$$

де m – кількість операцій технологічного процесу;

P_i – розцінка на i -ту операцію, грн.;

N – річна виробнича програма виробів, одиниць.

Розцінка на операцію розраховується за формулою:

$$P_i = C_i t_i \quad (4.9)$$

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

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

Розрахунок за операціями наведено в табл. 4.11 та табл. 4.12

Таблиця 4.11 – Розрахунок розцінки за операціями за базовою технологією

Найменування операції	Норма часу, н- годин	Розряд робіт	Часова тарифна ставка, грн.	Розцінка, грн.
Дробоструминна обробка	0,36	IV	50	18
Плазмове напилення	0,15	V	75	11,25
Всього	0,51	-	-	29,25

Таблиця 4.12 – Розрахунок розцінки за операціями за новою технологією

Найменування операції	Норма часу, н- годин	Розряд робіт	Часова тарифна ставка, грн.	Розцінка, грн.
Дробоструминна обробка	0,36	IV	50	18
Плазмове напилення	0,10	V	75	7,5
Всього	0,46	-	-	25,5

Тарифний фонд заробітної плати основних виробничих робітників за базовою технологією ($З_{\text{осн.б}}^{\text{тар.б}}$) і новою технологією ($З_{\text{осн.н}}^{\text{тар.н}}$) розраховується за формулою:

$$З_{\text{осн.б}}^{\text{тар.б}} = З_{\text{тар}} = N \sum_{i=1}^m P_i, \quad (4.10)$$

$$З_{\text{осн.н}}^{\text{тар.н}} = З_{\text{тар}} = N \sum_{i=1}^m P_i \quad (4.11)$$

Основний фонд заробітної плати допоміжних робітників, які знаходяться на погодинній оплаті праці, розраховується по формулі:

$$З_{\text{погод.}} = C_1 \cdot K_{\text{тар.сер.}} \cdot F_{\text{др}} \cdot R_{\text{доп}} \quad (4.12)$$

де C_1 – часова тарифна ставка 1-го розряду;

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

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

$$K_{\text{тар.сер.}} = \frac{\sum_{i=1}^m K_i \cdot R_{\text{доп.}i}}{R_{\text{доп}}} \quad (4.13)$$

де m – кількість розрядів допоміжних робітників;

K_i – тарифний коефіцієнт i -того розряду;

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

$$K_{\text{тар.сер.}} = \frac{1,5 \times 2}{2} = 1,5$$

$$З_{\text{погод.}} = 30 \times 1,5 \times 1830,4 \times 2 = 164736 \text{ грн.}$$

Відрахування на соціальне страхування розраховується відповідно до чинного законодавства – 22 % від фонду оплати праці. Річний фонд заробітної плати ІТР приведений в табл. 4.13.

Таблиця 4.13 – Розрахунок фондів заробітної плати ІТР

Посада	Чисельність, чол.	Місячний оклад, грн.	Річний фонд, грн.
1. Майстер	1	8000	96000
2. Технолог	1	6500	78000
Всього	2	-	174000

Фонд оплати праці наведено в табл. 4.14.

Таблиця 4.14 – Фонд оплати праці за новою технологією

Категорія персоналу	Чисельність персоналу, осіб	Фонд заробітної плати, грн.			Премія з прибутку, грн.	Фонд оплати праці, грн.	Середня заробітна плата на місяць, грн.	Відрахування до єдиного соц. внеску, грн.
		Основна заробітна плата	Додаткова заробітна плата	Усього				
Основні виробничі робітники	2	76500	38250	114750	11475	126225	5260	25245
Допоміжні робітники	2	164736	82368	247104	37065	284169	11840	62517
Майстер	1	96000	48000	144000	38400	182400	15200	40128
Технолог	1	78000	39000	117000	31200	148200	12350	32604
Усього	6	415236	207618	622854	118140	740994	11163	160494

4.3.4 Собівартість виробу

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

4.3.4.1 Прямі витрати

1. Основні та допоміжні матеріали – 130500 грн. (табл. 4.7);
2. Купівельні комплектуючі вироби та напівфабрикати – 61000 грн. (табл. 4.8);
3. Основна заробітна плата основних робітників – 76500 грн. (табл. 4.14);
4. Додаткова заробітна плата основних робітників – 38250 грн. (табл. 4.14);
5. Відрахування до єдиного соціального внеску – 27770 грн. (табл. 4.14);
6. Паливо та енергія на технологічні цілі – 257409 грн.

В статтю 6 має бути включено розрахунок вартості палива та енергії на здійснення технологічного процесу, виходячи із норм витрат та витрат за одиницю енергоносіїв.

Витрати на силову електроенергію знаходимо за формулою:

$$З = Sk \cdot W \quad (4.14)$$

де $Sk = 2,68$ грн. – вартість 1 кВт електроенергії;

W - річні витрати електроенергії яка споживається обладнанням

$$W = \sum P_d \cdot F_{до} \cdot \eta_s \quad (4.15)$$

де $\sum P_d = 87$ кВт - сумарна потужність двигунів;

$F_{до}$ - дійсний річний фонд часу роботи обладнання;

$\eta_s = 0,8$ - коефіцієнт завантаження обладнання по потужності.

$$W = 87 \times 1380 \times 0,8 = 96048 \text{ кВт} \cdot \text{годин}$$

$$З = 2,68 \times 96048 = 257409 \text{ грн.}$$

4.3.4.2 Непрямі витрати

Непрямі витрати є комплексними і містять декілька статей витрат, кожна з яких в свою чергу розраховується за відповідними статтями.

Непрямі витрати вміщують наступні статті:

- загальновиробничі витрати;
- адміністративні витрати;
- витрати на збут.

Загальновиробничі витрати розраховуються за наступними статтями витрат.

Стаття «Утримання та експлуатація машин і обладнання» (350% від фонду заробітної плати основних робітників).

Стаття «Утримання та експлуатація машин і обладнання» комплексна і охоплює такі витрати:

1. Утримання обладнання, робочих місць, будівель та споруд, інвентарю;
2. Заробітна плата додаткових робочих і відрахування на соціальні заходи;

3. Поточний ремонт будівель, споруд, обладнання, транспортних засобів та цінного інструменту, приладів та інвентарю – 5 % від їх вартості;
4. Амортизація основних засобів ділянки;
5. Відтворення малоцінних та швидкозношуваних предметів – 50% від їх вартості (вартість – 2% вартості обладнання;
6. Інші витрати складають 5% від суми витрат попередніх статей;

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

Розмір витрат на утримання та експлуатацію обладнання, що припадає на одиницю виробу розраховуються за формулою 4.16.

$$BY_i = \frac{L}{100} \cdot \text{ФОП}_{\text{оср}} = \frac{350}{100} \times 76500 = 267750 \text{ грн} \quad (4.16)$$

де $\text{ФОП}_{\text{оср}}$ – фонд оплати плаці основних робітників, грн

Приймаємо $L = 350\%$.

Стаття «Загальновиробничі витрати» – це витрати на управління в межах цеху (400% від фонду заробітної плати основних робітників). Стаття комплексна і охоплює такі витрати:

1. Утримання цехового персоналу – річний фонд заробітної плати спеціалістів і керівників і відрахування на соціальні заходи;
2. Утримання приміщень та інвентарю;
3. Поточний ремонт приміщень та інвентарю розраховується в розмірі 2% їх балансової вартості;
4. Амортизаційні відрахувань будівель і споруд;
5. Витрати на проведення випробувань, досліджень, раціоналізації та винахідництво приймають збільшено 100 грн. на рік на одного працівника;
6. Витрати на охорону праці плануються на рік 300 грн. на одного працівника;

7. Інші витрати складають 3% від суми витрат по попереднім статтям.

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

$$ЗВ_i = \frac{L}{100} \cdot \Phi ОП_{\text{оср}} = \frac{250}{100} \times 76500 = 191250 \text{ грн} \quad (4.17)$$

$$L = 250 \%$$

Адміністративні витрати вміщують витрати, пов'язані з утриманням адміністративно - управлінського персоналу підприємства, а також утриманням та експлуатацією основних засобів загального виробничого призначення, охорону праці та техніку безпеки персоналу та інші. Адміністративні витрати складають в середньому 150% від основної заробітної плати основних виробничих робітників та розраховуються за формулою:

$$АВ_i = \frac{L}{100} \cdot \Phi ОП_{\text{оср}} = \frac{150}{100} \times 76500 = 114750 \text{ грн.} \quad (4.18)$$

$$L = 150 \%$$

Витрати на збут складаються з витрат, пов'язаних з реалізацією продукції і вміщують витрати на тару та тарні матеріали, транспортування готової продукції, рекламу, витрати на маркетингові дослідження та інші. Витрати на збут складають 2 % від виробничої собівартості.

Таблиця 4.15 – Калькуляція собівартості напilenня

Стаття витрат	Нова технологія		Базова технологія	
	всього витрат, грн.	на комплект (8 шт.), грн.	всього витрат, грн.	на комплект (8 шт.), грн.
1	2	3	4	5

Продовження таблиці 4.15

1. Основні та допоміжні матеріали	130500	43,5	234120	78,04
2. Основна заробітна плата основних робітників	76500	25,5	87750	29,25
3. Додаткова заробітна плата основних робітників	38250	12,75	43875	14,63
4. Відрахування на соціальні заходи	25245	8,42	28958	9,65
5. Паливо і енергія на технологічні цілі	257409	85,8	285388	95,13
6. Утримання та експлуатація машин і обладнання	267750	89,25	307125	102,38
7. Загальновиробничі витрати	191250	63,75	219375	73,13
8. Виробнича собівартість	986904	328,97	1206591	402,20
9. Адміністративні витрати	114750	38,25	131625	43,88
10. Витрати на збут	19738	6,58	24132	8,04
11. Повна собівартість	1121392	373,79	1362348	45412

4.4 Економічне обґрунтування запропонованих розробок

В даному розділі необхідно розрахувати річний економічний ефект, який можливо отримати при виробництві виробів на спеціалізованій ділянці по запропонованому технологічному процесу в порівнянні з виробництвом цих же виробів на діючому підприємстві. Крім цього необхідно оцінити ефективність і

результативність діяльності виробничої ділянки або потокової лінії; розрахувати беззбитковість виробництва, побудувати графік беззбитковості.

4.4.1 Розрахунок економічного ефекту

Порівняльна економічна ефективність полягає у визначенні найбільш економічного варіанта рішення господарської задачі. Показниками порівняльної економічної ефективності є: сума приведених витрат, сума ефекту за розрахунковий рік [16].

Показник приведених витрат:

$$Z = Ci + E_n \cdot Ki \quad (4.19)$$

Показник приведених витрат за проектною технологією:

$$Z_2 = 1121392 + 0,15 \times 267750 = 1161555 \text{ грн.}$$

Показник приведених витрат за базовою технологією:

$$Z_1 = 1362348 + 0,15 \times 307125 = 1408417 \text{ грн.}$$

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

E_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень;

Ki – капітальні вкладення за i -тим проектом, грн.

Економічний ефект за розрахунковий рік:

$$E = Z_1 - Z_2 \quad (4.20)$$

$$E = 1408417 - 1161555 = 246862 \text{ грн.}$$

4.4.2 Ефективність та результативність

Оцінку ефективності та результативності діяльності можна здійснити за показниками:

1. Річний випуск виробів
 - в натуральному вимірі, одиниць;
 - за трудомісткістю, нормо-годин;
 - в грошовому виміру, грн.;
2. Виробнича площа ділянки, м²;
3. Вартість основних засобів, грн.;
4. Спискова чисельність персоналу усього, осіб
в тому числі:
 - основні робітники
 - допоміжні робітники
 - керівники і спеціалісти
5. Фонд оплати праці, грн.;
6. Середня заробітна плата на місяць, грн.;
7. Продуктивність праці одного працівника, грн./осіб

$$ПП = \frac{C_n}{R} = \frac{1121392}{6} = 186899 \text{ грн./осіб} \quad (4.21)$$

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

R – чисельність персоналу, осіб;

8. Фондовіддача, грн./грн.

$$f = \frac{C_n}{\Phi_{\text{осн}}} = \frac{1121392}{828900} = 1,35 \text{ грн./грн.} \quad (4.22)$$

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

9. Коефіцієнт завантаження обладнання ділянки;

10. Фондомісткість, грн./грн.

$$f' = \frac{\Phi_{\text{осн}}}{C_n} = \frac{828900}{1121392} = 0,74 \text{ грн./грн.} \quad (4.23)$$

11. Собівартість одиниці продукції, грн.;

12. Економічний ефект за розрахунковий рік, грн.;

Розрахунок показників ефективності та результативності наведений в табл. 4.16

Таблиця 4.16 – Показники ефективності та результативності

Найменування показника	Значення показника
1. Річний випуск виробів:	
- в натуральному вимірі, одиниць	24000
- за трудомісткістю, нормо-годин	2580
- в грошовому виміру, грн.	1121392
2. Виробнича площа ділянки, м ²	108
3. Вартість основних засобів, грн.	828900
4. Спискова чисельність персоналу усього, осіб:	
- основні робітники	2
- допоміжні робітники	2
- керівники і спеціалісти	2

Продовження таблиці 4.16

5. Фонд оплати праці, грн.	740994
6. Середня заробітна плата на місяць, грн.	11163
7. Продуктивність праці одного працівника, грн./осіб	186899
8. Фондовіддача	1,35
9. Коефіцієнт завантаження обладнання ділянки	0,74
10. Фондомісткість	0,74
11. Собівартість одиниці продукції, грн.	46,72
12. Економічний ефект за розрахунковий рік, грн.	246862

Отриманий економічний ефект у розмірі 246862 грн. показує, що технологія плазмового напилення струмоведучих наконечників, запропонована в даному дипломному проекті економічно ефективна. Рекомендовано використовувати дану технологію у виробництві.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі надані основні заходи з охорони праці при дослідженні технології плазмового напилення алюмінієвих струмопідводів шаф керування міддю.

5.1 Аналіз потенційних небезпек

а) можливість ураження електричним струмом при виконанні дослідних робіт на ділянці плазмового напилення, що може бути пов'язано з порушенням правил електробезпеки, зокрема не використанням індивідуальних чи групових засобів захисту, відсутністю надійних огорожень струмоведучих частин обладнання, що може призвести до електричних травм або летальних наслідків;

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

в) небезпеки при нанесенні покриттів на деталі методом плазмового напилення струмоведучим дротом, зокрема підвищений рівень шуму при роботі плазматрону, електроофтальмія – потужне ультрафіолетове випромінювання від плазмової дуги, інтенсивне інфрачервоне випромінювання, що може бути пов'язане з порушенням правил безпеки, не використанням індивідуальних засобів захисту та може призвести до захворювань органів слуху людини, органів зору та шкіри людини;

г) небезпеки, які пов'язані з підготовкою дослідних зразків, зокрема можливістю отримання механічних травм при використанні відрізних кругів, шліфувально-полірувальних верстатів, як наслідок, порушення правил з

охорони праці, зокрема використання несправного інструменту та обладнання, не використання спеціального одягу, захаращеність робочого місця;

г) небезпеки, які пов'язані з виділенням у навколишнє середовище аерозолів тугоплавких матеріалів і металів у вигляді окисних і нітридних плівок, які утворюються внаслідок 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 витяжної вентиляції та не використання індивідуальних засобів;

д) небезпеки, які пов'язані з використанням ПК при обробці результатів дослідження, зокрема негативний вплив електромагнітних полів та випромінювання ПК застарілих деталей;

е) незадовільні параметри повітряного середовища на ділянці і в дослідницькому приміщенні. Причинами цього є незадовільна робота системи опалення і кондиціонування, що може привести до зниження працездатності і загальних захворювань;

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

ж) можливість загорання робочого місця, внаслідок порушення правил пожежної безпеки, порушень технологічного процесу, що може призвести до пожежі;

з) небезпеки, які пов'язані з умовами праці у 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 недостатня обізнаність персоналу чи неправильні дії керівництва, що може привести до важких травм, летальних наслідків і масштабних руйнувань.

5.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки

а) для виключення уражень електричним струмом при плазмовому напиленні на інсталяції в дослідницькій лабораторії обладнання повинне відповідати правилам ПУЕ-2017 «Правила улаштування електроустановок» [17], де передбачено:

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

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

- електроустаткування і матеріали, що застосовуються в електроустановках, мають відповідати вимогам ДСТУ, ДБН та інших відповідних чинних нормативних документів або технічних умов, затверджених в установленому порядку. На продукцію іноземного виробництва має бути оформлено документи відповідності згідно з чинним в Україні законодавством

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

– розміщення обладнання для плазмового напилення, її вузлів та механізмів, а також механізмів, а також органів керування повинно забезпечувати вільний, зручний та безпечний доступ до них. Окрім того, розташування органів керування повинно забезпечувати можливість швидкого вимикання обладнання та зупинення всіх його механізмів.

б) для виключення отримання механічних травм внаслідок вильоту частинок дробу у зону, де знаходиться дослідник (ОГТ 3525-2001) передбачено:

– до дробоструминних робіт допускаються особи, яким виповнилось 18 років, які пройшли медичний огляд, спеціальний освітній курс та атестовані кваліфікаційною комісією;

– дробоструминник, підсобні робочі, що обслуговують дробоструминну камеру, незалежно від курсового навчання та водного інструктажу з охорони праці перед допуском до робіт та при переході з одного робочого місця в інше, повинні бути проінструктовані з техніки безпеки безпосередньо на робочому місці майстром або особою, яка проводить роботи;

– працівник, що виконує роботи, повинен знати правила з техніки безпеки при роботі з судинами під тиском;

– перед початком роботи перевірити герметичність усіх з'єднань, стан сопла;

– при виконанні дробоструминної обробки поблизу електричних кабелів чи електроустановок, останні повинні бути відключені чи огорожені;

– працювати тільки у захисному костюмі;

– на дробоструминну установку повинен бути паспорт з зазначеним допустимим робочим тиском;

– забороняється вхід стороннім на ділянку під час дробоструминної обробки;

– відключити установку при виникненні сторонніх шумів чи виходу з ладу будь-якого з елементів апарату.

в) для виключення отримання механічних травм при виготовленні зразків повинне бути передбачене проведення усіх необхідних інструктажів з охорони

праці, згідно НПАОП 0.00–4.12– 05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці» [18].

До індивідуальних засобів захисту відносяться – захисний костюм, згідно ГОСТ 12.4.103 – 83 «Одежда специальная защитная, средства индивидуальной защиты рук и ног. Классификация».

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

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

Найчастіше робітник отримує механічні травми внаслідок захаращення робочої зони та порушення правил експлуатації машин та механізмів. В зв'язку з цим, обов'язковим є щоденний контроль за станом робочої зони з боку керівництва відповідно до ДСТУ 3273– 95 «Безпечність промислових підприємств. Загальні положення та вимоги» [19].

в) для мінімізації негативного впливу небезпечних факторів при нанесенні покриттів плазмовим методом необхідно:

– використання антифонів для зниження рівня шуму (типу ВЦННІОТ) ГОСТ 12.4.051– 87 «Средства индивидуальной защиты органов слуха. Общие технические требования», які захищають слухові органи людини і в той же час дозволяють чути розмовну мову.

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

Для мінімізації негативного впливу інтенсивного звукового, світлового та інфрачервоного випромінювання передбачено:

– для захисту органів зору та обличчя необхідно використовувати зварювальні маски або щитки зі світوفільтрами Э– 200, Э– 300, Э– 400 згідно ДСТУ 2456–94 «Зварювання дугове. Вимоги безпеки» [20]. Крім того, рекомендується користуватися окулярами зі світوفільтрами типу В–2, В–3 для короткочасної роботи без маски (при запалюванні дуги, перевірці режиму роботи розпилювача);

– стіни приміщення, де знаходиться установка плазмового напилення, повинні бути пофарбовані у матовий колір для запобігання потрапляння відблисків 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»;

г) для захисту органів дихання необхідно видаляти аерозолі тугоплавких матеріалів і металів у вигляді окисних і нітридних 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»»;

д) загальні вимоги до техніки безпеки при роботі на комп'ютері.

Персонал, що працює на комп'ютері зобов'язаний дотримуватись вимог інструкції розробленої на підставі Санітарних норм і правил СанПин 2.2.2.542–96 «Гігієнічні вимоги до відео-дисплейних терміналів, персональних розрахункових машин і організації робіт» [21], а також нести особисту відповідальність за дотримання вимог безпеки своєї праці і за створення

небезпечного чи шкідливого виробничого фактору для інших працюючих та поломку комп'ютера.

При роботі за комп'ютером шкідливими чинниками є:

- стомлюваність очей;
- електростатичні поля;
- електромагнітне випромінювання;
- небезпека ураження електричним струмом;
- загальна втома, локальне стомлення;
- пожежонебезпека;
- наявність потужного іонізуючого випромінювання.

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

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

Для зволоженого повітря слід використовувати зволожувачі. У приміщенні повинно бути штучне і природне освітлення. Основний потік природного світла повинен бути ліворуч, не допускається праворуч, спереду і

ззаду, на вікнах повинні бути завіси в два рази більше ширини вікна. Забороняється використання чорних завіс на вікнах.

Приміщення де знаходяться комп'ютери відносяться до пожежо-небезпечної категорії «Б», тому необхідно мати вуглекислотний вогнегасник типу ВВК-5 і вміти ним користуватися. Звернути увагу на заземлення, тому що в комп'ютері використовуються мікросхеми, чутливі до статичної електрики. Звертати особливу увагу на цілісність ізоляції всіх кабелів і роз'ємів, щоб несподівано не виявитись під напругою щодо землі. Забороняється самостійно відкривати комп'ютери з-за високої напруги в середині. Виключається робота з комп'ютером і його периферійними пристроями з відкритим корпусом, самостійно перемикає силові і інтерфейсні кабелі, проливати різні рідини на них. Робоче місце працюючого на комп'ютері передбачено облаштовувати спеціальними меблями: обертовим стільцем із змінною висотою і кута нахилу спинки. При роботі за комп'ютером, працівник повинен бути уважним, не відволікатися на сторонні справи.

Під час роботи комп'ютера забороняється:

- залишати комп'ютер без нагляду;
- знімати корпус з комп'ютера;
- самостійно ремонтувати.

Рівень шуму в приміщенні під час роботи комп'ютерів не повинен перевищувати 50 дБА. Конструкція відео монітора повинна передбачати заходи, що забезпечують хорошу розбірливість зображення, незалежну від зовнішнього освітлення. Тривалість безперервної роботи з комп'ютером без регламентованої перерви не повинна перевищувати 2 години.

З метою зменшення негативного впливу монотонності на працюючого слід чергувати деякі операції, наприклад, введення тексту за допомогою клавіатури та редагування тексту, тощо.

Для зниження нервово-емоційного напруження, втоми зорового аналізатора, поліпшення мозкового кровообігу, подолання несприятливих

наслідків гіподинамії, запобігання втомі доцільно використовувати перерви для виконання комплексу спеціальних вправ.

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

5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

е) для забезпечення оптимальних параметрів повітряного середовища згідно з ГОСТ 12.1.00588 «Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» на ділянці напилення, окрім місцевої вентиляції повинно бути передбачено влаштування загальнообмінної вентиляції згідно ДСТУ Б А.3.2–12:2009 «Система стандартів безпеки праці. Системи вентиляції. Загальні вимоги» [22], та системи водяного чи парового опалення згідно СНиП 2.04.05–91 «Строительные нормы. Отопление, вентиляция и кондиционирование» [23].

є) згідно з держаними будівельними нормами ДБН В.2.5–28:2016 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення» [24] на ділянці плазмового напилення необхідно здійснити належне освітлення робочих місць робітників.

Роботи на ділянці плазмового напилення покриттів слід відносити до II (роботи високої точності) та III (точні роботи) розрядам. На ділянці допускається природнє, штучне та змішане освітлення. Природнє освітлення

може бути боковим, одностороннім чи двостороннім верхнім. Коефіцієнт природної освітленості при верхньому та комбінованому освітленні повинен складати не менш ніж 5 %, при боковому не менше 15 %.

Штучна освітленість на робочому місці при системі комбінованого освітлення допускається не менше ніж 400 лм, при системі загального освітлення – не менше 150 лм. Відповідно до вимог ДБН Б.2.5–28–2006 відношення максимальної освітленості до мінімальної допускається не більше: для робіт I–III розрядів при люмінесцентних лампах – 1,5; при інших джерелах світла – 2; для робіт – IV–VII розрядів – відповідно 1,8 та 3. Під розряд роботи зору – б (фон середній, контраст об'єкта з фоном – малий).

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

Вибір типу ламп та їх кількості для рівномірного освітлення приміщення відповідно до СНиП 11–4–79 «Природне і штучне освітлення. Норми проектування» [25].

Алгоритм розрахунку типу та кількості ламп:

- 1) Обираємо систему освітлення: загальне і комбіноване;
- 2) Визначаємо рівень нормованої освітленості (найменша освітленість залежить від розряду зорових робіт, фону, системи освітлення 300 -
- 3) Вибір джерела світла – газорозрядні лампи ДРІ – 125, світловий потік лампи Φ – 6500 лм;
- 4) Обираємо тип світильника для лампи ДРІ 125 – РПП;
- 5) Визначаємо сумарний світловий потік на ділянці.

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_n \cdot S \cdot k_z \cdot Z}{\eta}, \text{ лм} \quad (6,1)$$

E_n – нормоване значення освітленості, лк;

S – площа поверхні, що освітлюється, м²

k_z – коефіцієнт запасу;

z - коефіцієнт освітленості поверхні;

η – коефіцієнт використання світлового потоку.

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{300 \times 36 \times 1,8 \times 1,15}{0,46} = 48600 \text{ лм}$$

Визначаємо кількість ламп:

$$N_{\text{л}} = \frac{\Phi_{\Sigma}}{\Phi}, \text{ шт.} \quad (6.2)$$

$$N_{\text{л}} = \frac{48600}{6500} = 7,47 \text{ шт.} \sim 8 \text{ шт.}$$

Для оптимального освітлення робочої ділянки, світильники розміщуємо у 2 ряди по 4 світильника.

5.4 Заходи з пожежної безпеки

ж) заходи з пожежної безпеки визначаються відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні» [26].

Діяльність із забезпечення пожежної безпеки є складовою виробничої та іншої діяльності посадових осіб і працівників підприємств та об'єктів. Обов'язки щодо забезпечення пожежної безпеки, утримання та експлуатації засобів протипожежного захисту передбачаються у посадових інструкціях, обов'язках, положеннях про підрозділ.

Засоби виявлення займань та пожеж передбачаються згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту» [27]. В даний час можуть використовуватися: – охоронно-пожежна сигналізація (ОПС) неадресного типу; – порогова охоронно-пожежна сигналізація; – адресно-порогова охоронно-пожежна сигналізація. Для побудови неадресної пожежної сигналізації в

інтегрованій системі охорони «Оріон» можна застосувати наступні приймальноконтрольні прилади з контролем радіальних шлейфів сигналізації: – «Сигнал-20П»; – «Сигнал-20М»; – «Сигнал-10»; – «С2000-4». Всі прилади, за винятком «Сигнал-20П», можуть працювати в автономному режимі.

Для організації пожежної сигналізації, зазвичай в системі застосовується мережевий контролер – пульт «С2000М» (або «С2000»). Пульт може виконувати функції відображення подій, що відбуваються в системі, управління реле. Залежно від типу підключених пожежних сповіщувачів, при програмуванні конфігурацій приладів шлейфам може бути присвоєно один з типів:

- пожежний димовий з розпізнаванням подвійного спрацювання;
- пожежний комбінований однопороговий;
- пожежний тепловий двохпороговий.

Системи пожежного водопостачання, автоматичного пожежогасіння та первинні засоби пожежогасіння передбачаються з урахуванням особливостей пожежної небезпеки кожного виробництва. Системи пожежного водопостачання передбачаються згідно вимог ДБН В.2.5–64:2012 «Внутрішній водопровід та каналізація частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво» [28], ДБН В.2.5 – 74:2013 «Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди» [29] і ДБН В.2.5 – 75:2013 «Каналізація зовнішні мережі та споруди» [30]. Системи автоматичного пожежогасіння передбачаються згідно вимог ДБН В.2.5 – 56:2014 «Системи протипожежного захисту» [31]. Первинні засоби пожежогасіння (вогнегасники різних видів) 61 передбачаються згідно вимог «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників», зареєстрованих МЮ України 23.02.2018 г. за № 225/31677, в залежності від площі приміщення і класу пожежі (найбільш ймовірного).

5.5 Заходи по забезпеченню безпеки в умовах надзвичайних ситуацій

з) відносини, що пов'язані із захистом населення, територій, навколишнього середовища та майна від надзвичайних ситуацій, реагуванням на них, функціонуванням єдиної державної системи цивільного захисту, визначенням повноважень органів державної влади, Ради міністрів Автономної Республіки Крим, органів місцевого самоврядування, права та обов'язки громадян України, іноземців та осіб без громадянства, підприємств, установ та організацій незалежно від форм власності регулюються Кодексом цивільного захисту України [32].

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ВИСНОВКИ

1. Згідно зі статистичними даними втрати електричної енергії на контактних з'єднаннях досягають від 1 % до 10 % від всієї споживаної енергії (в залежності від потужності споживання підприємства, якості і ступеня зношеності обладнання). У зв'язку з цим необхідно максимально знизити втрати енергії в місцях контактних з'єднань сильноточних ланцюгів. Основними матеріалами контактних струмоведучих частин є мідь і алюміній через їх високу питому електропровідність. Однак перехід від мідного провідника до алюмінієвого вимагає вирішення завдання електрохімічного суміщення цих матеріалів.

2. Нанесення покриттів плазмовим напиленням є одним із розповсюджених процесів отримання поверхонь із спеціальними властивостями: зносостійкістю при нормальних і високих температурах, корозійною стійкістю, електропровідністю і т. д. Властивості плазмових покриттів визначаються фізико-хімічними процесами, які відбуваються між основою і частинками, а також між самими частинками в покритті при їх сплавленні, деформації і затвердінні. Останнє залежить від кінетики і механізму контактної взаємодії частинок, а це визначає властивості і працездатність покриттів.

3. Встановлено, що зі збільшенням товщини напиленого шару від 0,2 мм до 0,9 мм міцність зчеплення покриття з основою збільшується від 4,7 МПа до 8,0 МПа при $R_a = 16,6$ і з 4,4 МПа до 4,8 МПа при $R_a = 9,3$.

4. Експериментально встановлено, що зі збільшенням товщини напиленого шару контактний опір знижується, особливо на зразках з необробленою поверхнею. В свою чергу механічна обробка напиленого шару дозволяє значно знизити величину контактного опору за рахунок збільшення фактичної площі контактуючих поверхонь.

5. Розроблена технологія плазмового напилення струмоведучим дротом струмоведучих наконечників, підібрано обладнання та спроектоване оснащення яке дозволяє здійснити цей технологічний процес.

6. Нова технологія напилення дає змогу зменшити контактний опір пари $\text{Cu} - \text{Al}$. Так як, контактний опір наконечника одразу після напилення задовольняє вимогам ГОСТу і складає 4 мкОм то немає необхідності проводити механічну обробку напиленого шару, яка збільшує час виготовлення наконечників і як наслідок їх вартість. Економічний ефект від запропонованої технології складає 153840 грн. у рік.

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

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Зенин, Б.С. Современные технологии модифицирования поверхности и нанесения покрытий. Учебное пособие / Б.С.Зенин, Б.Б.Овечкин. – Томск : ТПУ, 2008. – 75 с.
2. Масанов, Н.Ф. Присоединение проводников к контактными выводами электрооборудования / Н.Ф.Масанов. – М. : Энергия. – 1969. – 96 с.
3. Мозгалин, А.В. Электропроводящие смазки – надежная мера снижения аварийности в сетях и уменьшения потерь в электрических контактах [Текст] / А.В.Мозгалин // Промышленная энергетика, – 2010. – № 11. – С. 12 – 16.
4. Беляев, В.Л. Исследование влияния электропроводящих смазок на сопротивление силовых контактных систем электролизеров и электрических аппаратов [Текст] / В. Л. Беляев, А. А. Шалагинов // Промышленная энергетика, – 2014. – №. 5. – С. 34 – 37.
5. Solchenbach, T. Electrical performance of laser braze-welded aluminum-copper interconnects [Text] / T.Solchenbach, P. Plapper, W.Cai // Journal of Manufacturing Processes. – 2014. – Т. 16. – №. 2. – С. 183 – 189.
6. Weigl, M. Influence of the feed rate and the lateral beam displacement on the joining quality of laser-welded copper-stainless steel connections [Text] / M.Weigl, M.Schmidt // Physics Procedia. – 2010. – Т. 5. – С. 53 – 59.
7. Saeid, T. Weldability and mechanical properties of dissimilar aluminum–copper lap joints made by friction stir welding [Text] / T.Saeid, A.Abdollah-Zadeh, B.Sazgari // Journal of Alloys and Compounds. – 2010. – Т. 490. – №. 1. – С. 652 – 655.
8. Декмин, Н. Б. Поверхность деталей машин и эксплуатационные свойства контакта – поверхность / Н. Б.Декмин, В. В. Измайлов // Физика, химия, механика. – 1982. – №11. – С. 16 – 27.
9. Декмин, Н. Б. Качество поверхности и контакт деталей машин / Н. Б. Декмин, Э. В. Рыжов. – М. : Машиностроение. – 1981. – 243 с.

10. Конон, Ю. А. Сварка взрывом / Ю. А. Конон, Л. Б. Первухин, А. Д. Чудновский. – М. : Машиностроение. – 1987. – 216 с.
11. Хасуи А., Мorigаки О. Наплавка и напыление / Пер. с яп. Х12 В. Н. Попова; Под ред. В. С. Степина, Н. Г. Шестеркина. – М. : Машиностроение, 1985. – 240 с.
12. Li, C.J. Relationships between feedstock structure, particle parameter, coating deposition, microstructure and properties for thermally sprayed conventional and nanostructured WC–Co / C.J.Li, G. J. Yang [Text] // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. – 2013. – Т. 39. – С. 2 – 17.
13. Дзекцер, Н.Н. Определение электрического сопротивления неподвижных контактных соединений / Н.Н.Дзекцер, В.В.Измайлов, Е.В.Николаева // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – № 9. – 1986. – С. 87 – 93.
14. Лякишева Н. П. Диаграммы состояния двойных металлических систем [Текст]: справочник: в 3 т. / под общ. ред. Н. П. Лякишева. – М. : Машиностроение, 1996-. – 21 с.
15. Пат. 45253 Україна 7. H05H1/100, 1/24, H05B7/18, B23K10/00. Електродуговий плазмотрон / Г. М. Русев, С. М. Кисельов, В. В. Овсянніков, 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 проекту здобувачами вищої освіти технічних спеціальностей за освітнім ступенем «магістр», – Запоріжжя : Кафедра підприємництва, торгівлі та біржової діяльності, НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 12 с.
17. Правила улаштування електроустановок [Текст]: ПУЕ-2017. – На заміну ПУЕ-86; чинний з 2017-08-21. – К. : Міненерговугілля України, 2017. – 617 с.
18. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з охорони праці [Текст]: НПАОП 0.00-4.12-05. – На заміну ДНАОП 0.00-

4.12-99 Типове положення про навчання з питань з охорони праці; чинний з 2005-02-15. – К. : Міністерство юстиції України. 2005. – 28 с.

19. ДСТУ 3273-95 Безпечність промислових підприємств. Загальні положення та вимоги / – введ з 19.12.95. – К. : Держстандарт України. 1996. – 5 с.

20. ДСТУ 2456-94 Зварювання дугове. Вимоги безпеки / – введ з 15.04.94. – К. : Держстандарт України. 1995. – 28 с

21. Гігієнічні вимоги до відео-дисплейних терміналів, персональних електронно-обчислювальних машин та організації роботи. Санітарні правила і норми. СанПин 2.2.2.542-96. – введ з 14.07.96. – М. : Госкомепіднадзор Росії. 1996. – 56 с.

22. ДСТУ 12.4.021-75 Системи стандартів безпеки праці. Системи вентиляції. Загальні вимоги ДСТУ Б А.3.2-12:2009 / – введ з 23.12.09. – К. : Мінрегіонбуд України. 2010. – 131 с.

23. Строительные нормы. Отопление, вентиляция и кондиционирование СНиП 2.04.05-91 [Текст]. – введ з 01.01.92. – М. : Госстрой СССР. 1992. – 78 с.

24. Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення ДБН В.2.5-28:2016 / – введ з 15.05.06. – К. : Мінбуд України. 2006. – 96 с.

25. Природне і штучне освітлення ДБН В.2.5-28:2018 / – введ з 03.10.18. – К. : Мінрегіон України. 2018. – 137 с.

26. Правила пожежної безпеки в Україні А.01.001-2014 / – введ з 04.11.04. – К. : Мінюст України. 2015. – 83 с.

27. Системи протипожежного захисту ДБН В.2.5-56:2014 / – введ з 13.11.14. – К. : Мінрегіон України. – 2015. – 134 с.

28. Внутрішній водопровід та каналізація частина I. Проектування. Частина II. Будівництво ДБН В.2.5-64:2012 / – введ з 01.03.13. – К. : Мінрегіон України. – 2013. – 134 с.

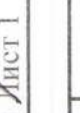
29. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. ДБН В.2.5- 74:2013 / введ з 08.04.13. – К. : Мінрегіон України. – 2014. – 301 с.

30. Каналізація зовнішні мережі та споруди ДБН В.2.5- 75:2013 / – введ з 28.08.13. – К. : Мінрегіон України. – 2014. – 223 с.

31. Системи протипожежного захисту. ДБН В.2.5-56:2014 / – введ з 01.07.15. – К. : Мінрегіон України. – 2015. – 134 с.

32. Кодекс цивільного захисту України,. – введений з 02.10.12. – К. : Відомості Верховної Ради України. – 2013. – 458 с.

Дубл.				
Взам.				
Подл.				

Розроб.	Сінько В.В.	
Перевір.	Лаптева Г.М.	
Н. контр.	Шумікін С.О.	
	Листів 2	Лист 1

	ГКІЮ 14.52.20.000	
		ДП

МАРШРУТНА КАРТА
технологічного процесу плазмового наплення
кабельних наконечників 70-10-12-А-УХЛЗ

