

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Фізико-технічний, інженерно-фізичний  
(повне найменування інституту, назва факультету)

Обладнання та технології зварювального виробництва  
(повна назва кафедри)

**Пояснювальна записка**

до дипломного проекту (роботи)

**бакалавра**

(ступінь вищої освіти (освітній ступінь))

на тему Розробка технології напівавтоматичної роботи сопелки турбіни середнього тиску двигуна Д-18

Виконав: студент 4 курсу, групи 19-319

Спеціальності 131 Прикладна механіка,

Освітня програма (спеціалізація)

Технології та устаткування  
зварювання

Килишів Олександр Іванович

(прізвище та ініціали)

Керівник Бриков Михайло Михайлович

(прізвище та ініціали)

Рецензент Килишів Олександр Іванович

(прізвище та ініціали)

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

Інститут, факультет Інженерно-фізичний  
 Кафедра Інтегровані технології зварювання та механічне конструювання  
 Ступінь вищої освіти Бакалавр  
 Спеціальність 131 "Прикладна механіка"  
(код і найменування)  
 Освітня програма (спеціалізація) Технології поєднувального зварювання  
(назва освітньої програми (спеціалізації))

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

В.О. Завідувач кафедри Вашурба  
Валерій НЕПРІБКО  
 « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ року

**ЗАВДАННЯ**  
**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)**

Рижиков Олександр Іванович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) "Розробка технології виготовлення робочої лопатки турбіни середнього тиску двигуна D-18"

керівник проекту (роботи) д.т.н. професор Бриков Михайло Михайлович,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ року № \_\_\_\_\_

2. Строк подання студентом проекту (роботи) \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Назва технології виготовлення робочої лопатки турбіни середнього тиску двигуна D-18; річне професійне вивчення

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Проектування конструкції і мансерації робочої лопатки турбіни середнього тиску двигуна D-18. 2. Технічні умови на виготовлення лопатки. 3. Розробка технології виготовлення лопатки.

4. Вибір оптимального типу керітково-матричного матеріалу.

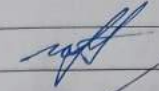

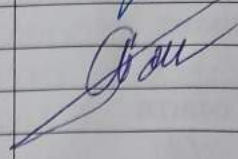
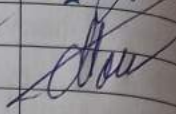
5. Техніко-економічні розрахунки зварювальної ділянки в отворі напруженої зварювальної конструкції.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Робоча лопатка турбіни середнього тиску. 2. Картина рідкого металу рідкого металу. 3. Моральні рідкість металу в шару металу. 4. Технологічна схема виготовлення лопатки. 5. Присосувальне для лопатки. 6. Присосувальна лопатка. 7. Присосувальна лопатка. 8. Вибір оптимального матеріалу.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)



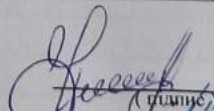
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	приймав виконане завдання
2-5	Бриков М.М. професор		
6	Попов С.М. професор		
4/к			

7. Дата видачі завдання « 23 » травня 2023 року.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

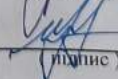
№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Звіт	22.05.2023	
2	Вихідні дані та їх аналіз	23.05.2023	
3	Технологічний процес збирання і зварювання	28.05.2023	
4	Технічне корегування операції і визначення трудоемкості виконання роботи.	29.05.2023	
5	Визначення пошрідної кількості об'єктів	30.05.2023	
6	Визначення пошрідної кількості робочих місць.	31.05.2023	
7	Оцінка ризику та безпеки у нештатних ситуаціях	02.06.2023	
8	Висновок	03.06.2023	
9	Виконання креслень та деталей.	06.06.2023	

Студент(ка)

  
(підпис)

Резніков О.Г.  
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

  
(підпис)

Бриков М.М.  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 101 с., 33 табл., 23 рис., 2 дод., 14 джерел

### РОБОЧА ЛОПАТКА, ТУРБІНА СЕРЕДНЬОГО ТИСКУ, РОБОТ, ПОРОШКОВО-ПЛАЗМОВЕ НАПЛАВЛЕННЯ, ВІДНОВЛЕННЯ, РЕМОНТ

Об'єкт дослідження – робоча лопатка турбіни середнього тиску двигуна ТД-500.

Мета роботи – вдосконалення технології ремонту бандажної полки робочої лопатки методом порошково-плазмового наплавлення.

Метод дослідження – аналіз базової технології ремонту, а також сучасних технологій та устаткування, з метою розроблення оптимальної технології ремонту бандажної полки робочої лопатки.

Розглянуто базову технологію ремонту бандажної полки робочої лопатки турбіни середнього тиску двигуна ТД-500 способом ручного плазмово-порошкового наплавлення. Досліджено характер і механізми зношування та руйнування лопатки в результаті її експлуатаційних умов. Вивчено основні труднощі при відновленні лопаток, що обумовлені її хімічним складом.

Зважаючи на всі особливості базової технології ремонту бандажної полки робочої лопатки для поліпшення якості наплавних робіт та зменшення їх собівартості за рахунок мінімізації людського фактору і зменшення витрат дорогих матеріалів було розроблену нову технологію ремонту, в основу якої увійшла базова технологія, але з заміною ручної праці на роботизовану.

## ABSTRACT

Explanatory note: 101 pages, 33 tables, 23 figures, 2 appendixes, 14 sources.

### WORKING BATTLE, MIDDLE TURBINE, WORK, POWDER PLASMA, REPAIR

The purpose of the work is to improve the technology of repair of the bandage shelf of the working blade by the method of powder-plasma surfacing.

The research method is the analysis of basic repair technology, as well as modern technologies and equipment, in order to develop the optimal technology for repairing the shoulder blade of the working blade.

The basic technology of repair of the turbine blades of the turbine blades of medium pressure of the TD-500 engine by the method of manual plasma-powder surfacing is considered. The nature and mechanisms of wear and destruction of the blade as a result of its operating conditions are investigated. The main difficulties in the restoration of the blades due to its chemical composition were studied.

Taking into account all the features of the basic technology of repair of the bandage shelf of the working blade to improve the quality of surfacing works and reduce their cost by minimizing the human factor and reducing the cost of expensive materials, a new repair technology was developed, the basis of which was the basic technology, but with the replacement of manual labor .

## ЗМІСТ

Перелік скорочень, умовних позначок, одиниць і термінів .....	8
Вступ.....	9
1 Призначення, конструкція і матеріал робочої лопатки турбіни середнього тиску двигуна ТД-500 .....	13
1.1 Умови експлуатації виробу, характер і механізм руйнування в результаті впливу експлуатаційних факторів.....	15
1.2 Труднощі при наплавленні робочої лопатки, обумовлені складом металу, шляхи їх подолання.....	19
1.3 Сучасні технології і матеріали, що використовуються при ремонті робочих лопаток.....	21
1.4 Аналіз базової технології ремонту лопатки .....	25
2 Технічні умови на відновлення лопатки .....	28
2.1 Технічні вимоги до порошку .....	28
2.2 Технічні вимоги до захисного і плазмоутворюючого газу.....	29
2.3 Технічні вимоги до контролю якості .....	30
3 Розробка технології ремонту лопатки.....	31
3.1 Підготовка виробу до наплавлення.....	31
3.2 Вибір матеріалів для наплавлення .....	32
3.3 Вибір оптимальних параметрів режимів наплавлення .....	34
3.4 Технологія і техніка наплавних робіт .....	34
4 Вибір обладнання для порошково-плазмового наплавлення .....	36
4.1. Розробка обладнання для позиціонування лопатки під наплавлення .....	36
4.2 Вибір стандартного обладнання .....	38
4.3 Контроль якості і методи усунення дефектів.....	44
5 Техніко-економічні розрахунки зварювальної дільниці .....	49
5.1 Організація дільниці з відновлення порошково-плазмовим наплавленням робочої лопатки ТСТ .....	49
5.2 Виробнича програма і її матеріальне забезпечення .....	50

5.3 Розрахунок кількості обладнання та площі ділянки .....	51
5.4 Розрахунок кількості персоналу ділянки.....	55
5.5 Фонд оплати праці .....	57
5.6. Розрахунок собівартості зварювальних робіт .....	61
6 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	74
6.1 Аналіз потенційних небезпек .....	74
6.2 Заходи по забезпеченню безпеки .....	76
6.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці .....	79
6.4 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	84
6.4.1. Заходи з пожежної безпеки.....	84
6.4.2. Навчання населення діям в умовах надзвичайних ситуацій.....	90
Висновки .....	93
Перелік джерел посилання .....	94
Додаток А. Специфікація до креслення «Пристосування для наплавлення робочої лопатки» .....	93
Додаток Б. Маршрутна карта технологічного процесу відновлення робочої лопатки .....	99

## **ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАК, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ**

АТ – акціонерне товариство.

ТД – турбінний двигун.

ПНП – плазмове порошкове наплавлення.

ГТД – газо-турбінний двигун.

ТСТ – турбіна середнього тиску.

ККД – коефіцієнт корисної дії.

ТУ – технічні умови.

ВК – візуальний контроль.

УФ – ультра-фіолетове.

ПК – персональний комп'ютер.

НС – надзвичайні ситуації.



## ВСТУП

Авіаційна промисловість являє собою сукупність підприємств по будівництву, ремонту, модернізації та переобладнання літальних апаратів всіх класів. Авіаційна промисловість відноситься до групи галузей транспортного машинобудування. Характерною особливістю галузі є висока частка витрат живої праці, яка може перевищувати 40% вартості продукції, що обумовлено технологією виробництва і високою складністю окремих підсистем таких, як авіаційний двигун, що вимагає індивідуального складання і прецизійної обробки деталей.

На підприємстві ДП «Івченко-Прогрес» ремонту приділяється особливе значення. Досить великий парк двигунів Д-18, що знаходяться в експлуатації, забезпечує відповідну завантаження підприємства ремонтними роботами. У цих умовах, при фіксованій ціні ремонту, підвищення прибутку від нього можливо тільки за рахунок зниження собівартості ремонту. У зв'язку з цим на підприємстві організований комплекс робіт, спрямованих на досягнення цих цілей. Основними можна вважати наступні напрямки: зниження витрат, викликаних заміною забракованої матеріальної частини; зниження витрат на проведення випробувань ремонтних виробів; зниження трудомісткості і підвищення технологічності виробництва і ін.

На ДП «Івченко-Прогрес» впроваджений процес плазмового порошкового наплавлення (ППН) при ремонті деталей.

При ППН наплавлюємий матеріал у вигляді порошку вноситься в стовп плазмової дуги транспортуєчим газом. Плазмова дуга (стискається аргонном через отвір плазмоутворюючого сопла), розплавляє порошок і, локально, кромку наплавлюваного деталі. При даному способі наплавки можливо відрегулювати протягом процесу таким чином, що буде плавитися дугою тільки тонкий шар основного металу на поверхні. Як результат, на поверхні деталі з'являється звичайна зварювальний ванна. Під час затвердіння формується металургійне зчеплення (сплав) між присадним матеріалом (порошком) і

матеріалом основи при мінімальному переплавленні і перемішуванні з матеріалом деталі (3 - 10% від висоти наплавляемого шару).

Даним способом виконується відновлення і зміцнення бандажних полиць, лабіринтових гребінців і зигов лопаток турбін і лабіринтових гребінців дисків і валів всіх виробів.

Вибір даної проблеми обумовлений тим що, незважаючи на стале виробництво, відсутня цілісна методика раціонального вибору методу забезпечення необхідної корозійної стійкості і втомної міцності лопаток ротора і статора компресора низького тиску при ремонті з урахуванням їх собівартості. Це неминуче призводить до невиправдано великих економічних втрат, внаслідок використання надмірно дорогого методу забезпечення корозійної стійкості.

На ефективність роботи авіаційного двигуна найбезпосередніший вплив надають параметри компресора і турбіни, ступінь досконалості лопаткових вінців, якість конструкцій рухомих і нерухомих лопаток.

Надійність газотурбінних двигунів в значній мірі залежить від надійності роботи лопаток компресора і турбіни, оскільки вони є найбільш навантаженими деталями. Лопатки піддаються дії статичних, динамічних та циклічних навантажень, крім того, лопатки турбіни відчувають циклічні термічні напруги [1].

Складність і трудомісткість процесу профілювання пояснюється різними і незалежними один від одного вимогами газодинаміки, міцності і технологічності конструкції, яким повинна задовольняти взаємодіє з газом робоча частина (перо) лопаток [2].

Технологічний процес ремонту лопаток повинен забезпечувати їх високу якість, надійність і заданий ресурс. Разом з тим при виборі способу обробки при ремонті масових деталей, таких як лопатки ГТД, необхідно враховувати і економічну ефективність.

При вирішенні питань створення та широкого впровадження найбільш прогресивних технологічних процесів при ремонті лопаток особлива увага

повинна приділятися механізації і автоматизації механічної обробки, контролю і технологічної оснастці.

При експлуатації двигунів в умовах корозійного і ерозійного впливу на лопатки після механічної обробки, їх стійкість буде визначатися термодинамічної стабільністю матеріалу поверхневого шару. Внутрішні чинники, що впливають на термодинамічну стабільність матеріалу поверхневого шару лопатки, описуються комплексом параметрів якості поверхневого шару, що включає геометричні і фізико-механічні параметри стану поверхневого шару, які формуються в процесі виготовлення деталі. Таким чином, виникає необхідність в удосконаленні технології ремонту деталей, що піддаються корозійного впливу. Забезпечення корозійної "стійкості" лопаток компресора авіаційного двигуна тільки механічною обробкою часто не реалізується через відсутність науково обґрунтованих методик розрахунку і прогнозування зміни термодинамічної стабільності матеріалу поверхневого шару лопаток, вибору параметрів якості поверхневих шарів і умов механічної обробки з точки зору забезпечення необхідної корозійної; стійкості [3, 4].

При корозійному впливі на лопатки компресора з використанням інгібіторів корозії або покриттів під час експлуатації, їх корозійна стійкість визначається властивостями захисних плівок і покриттів, а також адгезію їх до підкладки [5]. Забезпечення необхідної корозійної стійкості лопаток з матеріалу ЖС18-ВІ при використанні інгібіторів корозії і покриттів в даний час також стримується відсутністю науково-обґрунтованих методик розрахунку і прогнозування їх захисних властивостей в залежності від якості поверхневого шару підкладки і умов її обробки.

У зв'язку з цим актуальними є дослідження, спрямовані на вирішення завдань по технологічному забезпеченню корозійної стійкості лопаток компресора на основі раціонального вибору якості поверхневого шару, технологічного методу і режимів обробки.

Підвищення експлуатаційної довговічності і надійності деталей машин є комплексним завданням. Найважливіша її частина - формування властивостей

матеріалу поверхневого шару деталей. В даний час особливе значення мають технологічні методи відновлення робочих поверхонь з одночасним ефектом зміцнення поверхневого шару і підвищення експлуатаційних властивостей (підвищення зносостійкості, тріщиностійкості, статичної і контактної-втомної міцності, красностойкості, загального зміцнюючого ефекту).

Недоліком плазово-порошкової наплавки легованими складами є схильність покриттів до утворення тріщин. Необхідно, на основі виявлення закономірностей і механізмів утворення тріщин, визначити оптимальні режими, які забезпечать мінімальну можливість їх появи або отримання бездефектного покриття. Важливим моментом є структура в районі лінії сплавляння, властивості якої впливають на напружений стан покриття в цілому.

Ефективність виробництва і якість продукції нерозривно пов'язане з проблемою повного використання можливостей, які закладені в конструкційних матеріалах і технологіях. У зв'язку з цим актуально дослідження впливу технологічних прийомів, фізичних методів і термічної обробки з комплексним впливом на макробудова, структуру, фазовий склад і експлуатаційні властивості покриття. Введення в зварювальну ванну модифікують елементів, електромагнітного і ультразвукового впливу дозволяє управляти формуванням первинної структури. Комбінація режиму наплавлення і впливів дає сукупність нових наукових результатів і технічних рішень, що дозволяють покращувати службові властивості виробів.

## 1 ПРИЗНАЧЕННЯ, КОНСТРУКЦІЯ І МАТЕРІАЛ РОБОЧОЇ ЛОПАТКИ ТУРБИНИ СЕРЕДНЬОГО ТИСКУ ДВИГУНА ТД-500

Турбіна - ротаційний двигун, що працює під дією значних відцентрових сил. Основний робочий орган машини - ротор, на якому по всьому діаметру закріплені лопатки. Всі елементи поміщені в загальний корпус спеціальної форми у вигляді нагнітальних і подаючих патрубків або сопел. На лопатки подається газове середовище, утворене за рахунок згорання палива, що приводять в рух ротор.

Лопатка - це робоча деталь ротора турбіни. Ступінь надійно фіксується під оптимальним кутом нахилу. Елементи працюють під колосальними навантаженнями, тому до них пред'являють найжорсткіші вимоги щодо якості, надійності і довговічності.

Робочі лопатки - знаходяться на валах, що обертаються (рис 1.1). Деталі передають механічну корисну потужність на приєднаний вал. Тиск на робочих лопатках залишається постійним завдяки тому, що напрямні лопатки всю різницю ентальпії перетворюють в енергію потоку.

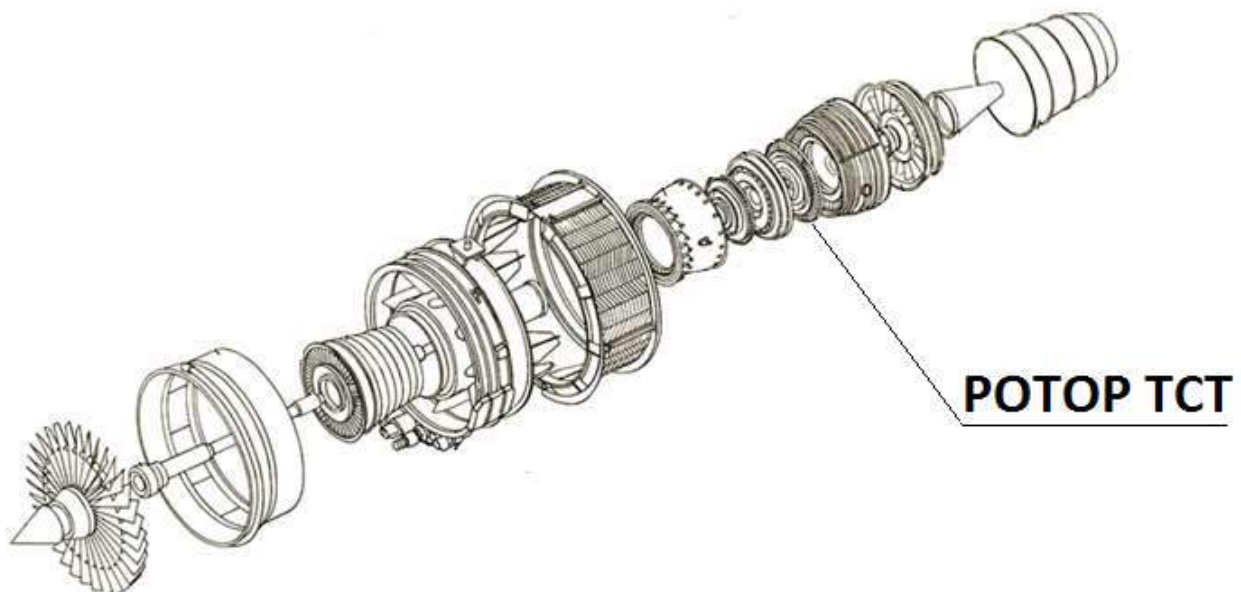


Рисунок 1.1 – Розміщення ротора турбіни середнього тиску у двигуні ТД-500.



Робочу лопатку двигуна ТД-500 (рис. 1.2) виготовляють зі жаростійкого сплаву ЖС26-ВІ, хімічний склад і механічні властивості якого наведені в таблицях 1.1 та 1.2 відповідно.

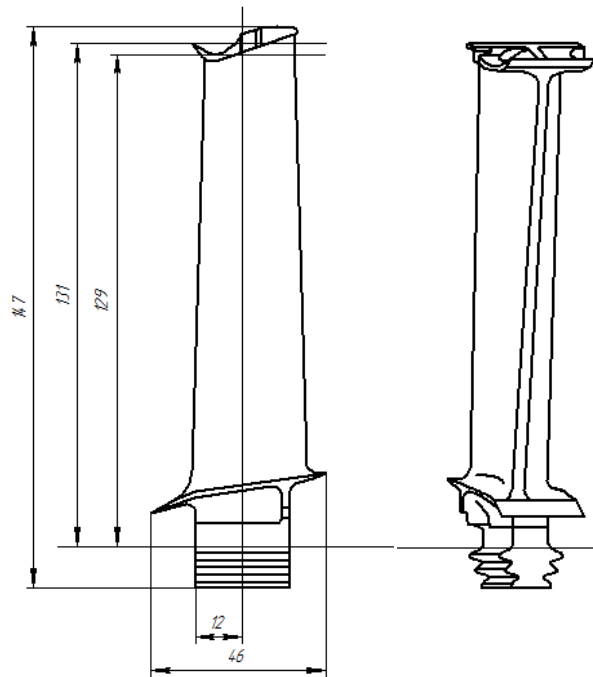


Рисунок 1.2 – Робоча лопатка турбіни

Таблиця 1.1 – Хімічний склад ЖС26-ВІ [6]

C	Ni	Cr	W	Co	Mo	Al	Ti	Nb	Si	Fe
0,12-0,17	Осн.	4,3-5,3	11,5-12,3	8,7-9,3	0,8-1,2	5,7-6,2	0,9-1,3	1,2-1,6	≤ 0,2	≤ 0,5

Таблиця 1.2 – Механічні властивості ЖС26-ВІ [6]

$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	HRC	Час до руйнування при температурі 850°C під навантаженням 260 МПа, год
949	20	24,6	34..38	54,5

## 1.1 Умови експлуатації виробу, характер і механізм руйнування в результаті впливу експлуатаційних факторів

Робочі лопатки знаходяться в складних умовах експлуатації під дією значних напруг, що розтягують, викликаних відцентровими та вібраційними силами, в поєднанні зі значним температурним впливом, ускладненими нерівномірним газовим потоком і його хімічною агресивністю.

Значні короточасні розтягують термічні напруги виникають під час зупинок турбіни в поверхневих шарах лопаток і на тонких вихідних крайках і пов'язані вони з різким нерівномірним охолодженням поверхні пера і тонких крайок потоком повітря після припинення подачі палива. Під дією тиску газового потоку в робочих лопатках виникають напруження згину, максимальні в підставі пера.

Робочі лопатки мають змінну по висоті і перетину температуру. Величина градієнта температур залежить від параметрів потоку і геометрії лопаток (рис 1.3) [7, 8].

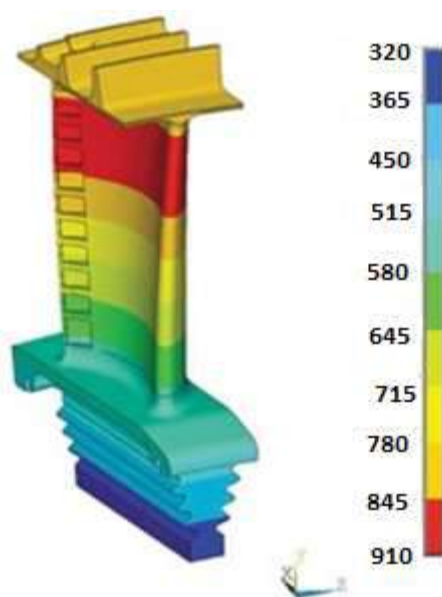


Рисунок 1.3 – Схема розподілу температур по довжині робочої лопатки

Умови експлуатації робочих лопаток газових турбін відрізняються високою агресивністю в результаті впливу на лопатки продуктів згоряння палива, що містять сірку, з'єднання  $\text{SO}_2$ , солі натрію і ін. речовини, що викликають високотемпературну газову корозію. Не виключено і пряме окислення поверхні лопатки.

Статистичний аналіз руйнувань робочих лопаток ТСТ в залежності від напрацювання (рис. 1.4) показав, що приблизно між 7 та 11 тис. год. напрацювань лопатки починають руйнуватися, але частота цих руйнувань лежить у дозволений нормі – 10%, а після 11 тис. год. напрацювань частота руйнувань різко зростає, хоча в деяких випадках напрацювання досягало 30 і більше тисяч годин. Отже ресурс роботи лопатки складає 11 тис. год.



Рисунок 1.4 - Статистична залежність числа руйнувань робочих лопаток ТСТ від напрацювання

Зношування поверхні робочої лопатки – тобто зменшення її геометричних розмірів і форм – відбувається під впливом значних напруг, що розтягують, викликаних відцентровими та вібраційними силами, в поєднанні зі значним температурним впливом, ускладненими нерівномірним газовим

потоком і його хімічною агресивністю (рис. 1.5). Як правило руйнування лопатки відбувається у площині її пера. Після вичерпання ресурсу напрацювання у тілі лопатки виникають тріщини, що з часом розповсюджується, саме по цих тріщинам і руйнується лопатка (рис. 1.6).



Рисунок 1.5 – Приклади зношування робочої лопатки

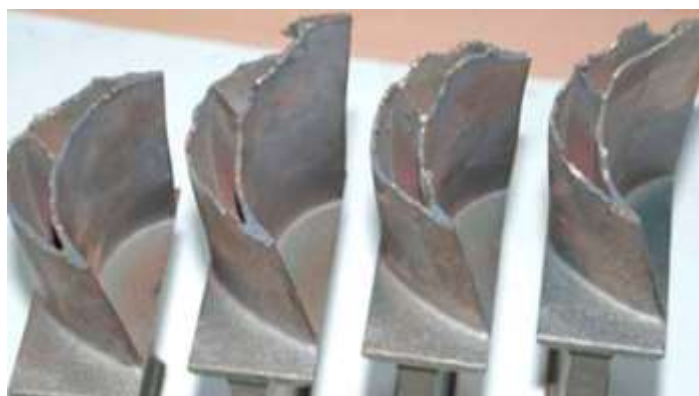


Рисунок 1.6 – Приклади зруйнованих лопаток, що не підлягають відновленню

Працездатність робочих лопаток турбін середнього тиску в цілому визначається їх структурою.

Для ЖС26-ВІ в початковому стані характерна високолегована аустенітна основа з рівномірно розподіленою дисперсною зміцнюючою  $\gamma'$  - фазою (рис. 1.7), що має склад  $Ni_3(Al, Ti)$  [9], карбідною фазою типу  $MeC$ , що виділяється в тілі зерен і граничною фазою карбіду типу  $Me_{23}C_6$ . Наявність дисперсних зміцнюючих фаз власне і забезпечує високу опірність сплаву повзучості при високотемпературному навантаженні.



Рисунок 1.7 - Структура металу пера лопаток зі сплаву ЖС26-ВІ в початковому стані (x1000)

Дослідження лопаток в процесі експлуатації дозволили встановити, що зі збільшенням напрацювання лопаток в структурі спостерігаються процеси коагуляції зміцнюючих  $\gamma'$  - фази і виділення  $\gamma$  - фази в вигляді строчечного включень (рис. 1.7), що сприяють розвитку охрупчивання при експлуатації.

Час до руйнування при температурі випробування (експлуатаційної)  $850^{\circ}C$  при навантаженні 320 МПа для нових лопаток становить 82-86 год, а при напрацюванні 11000 год час до руйнування скорочується до 60 год. Найінтенсивніше знижуються пластичні властивості. У зразків, вирізаних з пера лопатки в початковому стані відносне подовження при випробуваннях на короткочасну міцність при температурі  $850^{\circ}C$  становило 36-38%, а для зразків з напрацюванням 12000 годин відносне подовження не перевищувало 20-22%. Структура пера лопатки зі сплаву ЖС26-ВІ після напрацювання 11000 годин наведено на рис. 1.8.





Рисунок 1.8 - Структура пера лопатки зі сплаву ЖС26-ВІ після напруцювання 12000 годин (x10000)

Термодинамічні розрахунки ізобарних потанціалов  $\Delta G$  показали, що при температурі експлуатації  $T = 850^{\circ}\text{C}$  (1123 K) інтерметалідні сполуки, що утворюються між основою - нікелем і найбільш активними в складі елементами алюмінієм і титаном стійкі і схильні до зростання оскільки їм відповідають найменші значення ізобарного потенціалу. Причому існує ймовірність коагуляції інтерметалідів алюмінію і титану [8].

Робочі лопатки знаходяться в газообразивному середовищі і під дією значних напруг, що розтягують. Розтягують напруги викликані відцентровими (частота обертання ротора 7100 об/хв) і вібраційними силами, в поєднанні зі значним температурним впливом (температура робочих лопаток сягає  $850^{\circ}\text{C}$ ), ускладненими нерівномірним газовим потоком і його хімічною агресивністю.

1.2 Труднощі при наплавленні робочої лопатки, обумовлені складом металу, шляхи їх подолання

Характерним дефектом при зварюванні та наплавленні жаростійких нікелевих сплавів, що містять більше 50%  $\gamma'$  - фази, є поперечні тріщини в металі шва, які мають розгалужених характер (рис. 1.9). Вони перетинають шов і «загасають» на лінії сплавлення або в ЗТВ.



Рисунок 1.9 – Поверхня зварного з'єднання (x25)

Основним фактором, що визначає ймовірність утворення тріщин, являються температурно-часові параметри формування зварного з'єднання, зумовленого швидкістю зварювання, підігрівом, тепловідводом. Поперечні тріщини утворюються головним чином при готівки високих температурних градієнтів і швидкості охолодження, при великій швидкості зварювання, високої питомої потужності, посиленому тепловідводі, корду в з'єднання формуються значні напруги і швидкість деформації. Отримання зварних з'єднань без тріщин можливо у вузькому діапазоні режимів і умов зварювання. Для металу товщиною 1 ... 3 мм тріщини утворюються при швидкості зварювання більше 15 м/год. Попередній підігрів крайок, що зварюються до 350 ... 450 °С дозволяють збільшити швидкість зварювання до 25 м/год; посилене охолодження, навпаки, наближає її до 5 м/год.

Вивчення фотографії (рис 1.9) і фрактограми (рис. 1.10) поверхні тріщин, безпосереднє спостереження їх виникнення в процесі зварювання, дозволяють припустити, що вони, швидше за все, відносяться до тріщин в низькотемпературному провалі пластичності DTR [10].

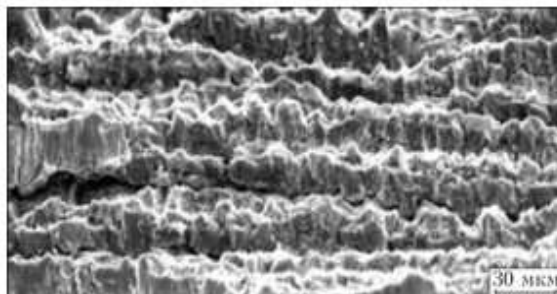


Рисунок 1.10 – Фрактограма поверхні тріщини (x4000)

Основною причиною утворення поперечних тріщин є не стільки руйнування монокристалічного металу шва або ж зміна параметра невідповідності  $\gamma$ - і  $\gamma'$  - фаз, пов'язаних з неоднорідним розподілом дислокацій внаслідок зазначеної кристалографічної асиметрії зварного з'єднання, а також «низькотемпературного» механізму формування структури. Останній має місце при високих швидкостях зварювання, значною питомою потужністю джерела нагріву і сильному тепловідведенні.

Обмеженням змісту домішок впровадження і особливо їх нерівномірного розподілу в вихідному матеріалі і присадці можна також зменшити структурне деформування в зварних з'єднаннях, особливо в зоні сплаву і у осі шва. Тому монокристалевий метал перед зварюванням повинен проходити термообробку для зняття наклепу, залишкові напруги, гомогенізації структури і хімічного складу, при цьому не обходимо регламентувати умови і режими зварювання.

Слід зазначити, що встановлений для зварних швів вплив технологічних факторів на відхилення кристалічної орієнтації металу шва від вихідної, утворення зерен іншої орієнтації, щільність і розподіл дислокацій має місце і при наплавленні на кромку монокристалічних зразків [11].

### 1.3 Сучасні технології і матеріали, що використовуються при ремонті робочих лопаток

Плазмово-порошкове наплавлення на більшості сучасних підприємств здійснюється саме в комбінованих агрегатах. У них металевий присадний порошок розплавляється між соплом пальника і електродом з вольфраму. А в той час, коли дуга горить між деталлю і електродом, починається нагрівання поверхні наплавленого виробу. За рахунок цього відбувається якісне і швидке сплавлення основного і присадного металу.

Комбінований плазмотрон (рис. 1.11) забезпечує малий вміст в складі наплавленого основного матеріалу, а також найменшу глибину його

проплавлення. Саме ці факти і визнаються основним технологічним фактором наплавлення за допомогою плазмового струменя.



Рисунок 1.11- Плазмотрон для наплавлення

Захист від шкідливого впливу навколишнього повітря на наплавлену поверхню забезпечується інертним газом. Він надходить в сопло установки і надійно захищає дугу, оточуючи її. Транспортуючим газом з інертними характеристиками здійснюється і подача порошкової суміші для присадки. Вона надходить із спеціального живильника.

В цілому стандартний плазмотрон комбінованого типу дії, в якому проводиться напилення і наплавлення металу, складається з наступних частин:

- два джерела живлення (один живить "непряму" дугу, інший - "пряму");
- живильник для суміші;
- опори (баластні);
- отвір, куди подається газ;
- сопло;
- осцилятор;
- корпус пальника;
- труба для подачі (несе порошкову композицію газу).

Узагальнена схема процесу плазмового наплавлення покриттів приведена на рисунку 1.12. При плазмовому напавленні можлива як радіальна, так і осьова подача матеріалу у вигляді порошку або дроту (стрижнів). Використовуються різні види плазмових струменів: турбулентні, ламінарні, дозвукові і надзвукові, закручені і незакручені, осеметричні і плоскосиметричні, безперервні і імпульсні та ін.

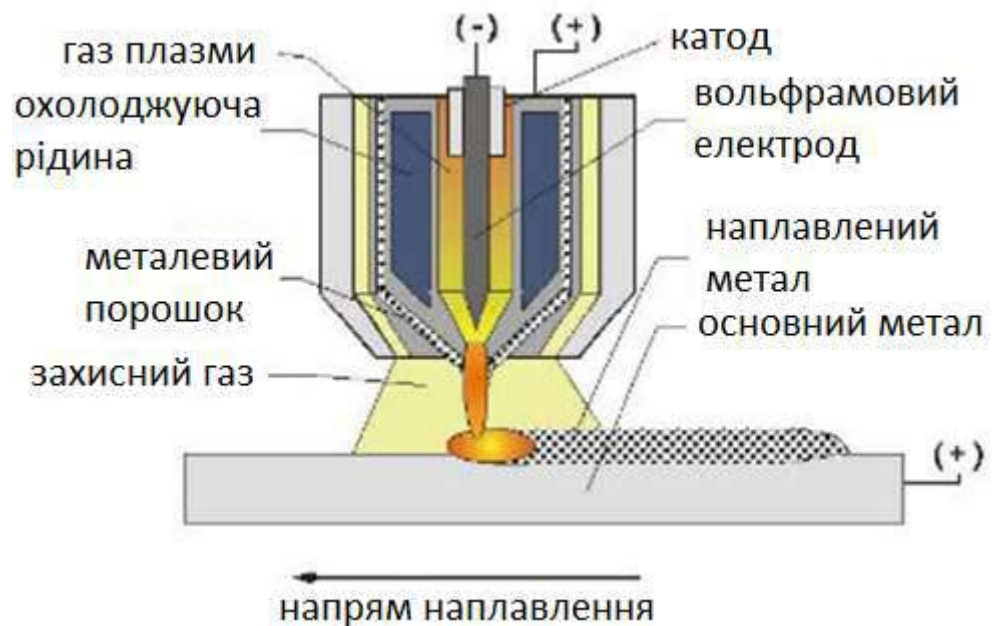


Рисунок 1.12 – Узагальнена схема плазмового наплавлення покриттів:

До основних параметрів режимів плазмового наплавлення відносять:

- сила струму (А);
- напруга на дузі (В);
- витрата плазмоутворюючого газу (л/хв);
- витрата захисного газу (л/хв);
- витрата охолоджуючої рідини (води) (л/хв.);
- діаметр вольфрамового електрода (мм);
- витрата порошку (г/хв);
- діаметр плазмоутворюючого отвору (мм).



Сучасний рівень плазмового наплавлення в основному базується на використанні дозвукових і надзвукових, турбулентних, асиметричних, плазмових струменів з широким діапазоном теплофізичних властивостей. На нагрівання плазмоутворюючого газу витрачається близько половини потужності, що підводиться до розпилювача. Зазвичай тепловий ККД розпилювача складає 0,4-0,75. Слід також відзначити слабе використання плазмового струменя як джерела теплоти на нагрів порошкових частинок. Ефективний ККД нагріву порошкових частинок плазмою знаходиться в межах 0,01 - 0,15. При розплавленні дроту ефективний ККД суттєво вище і досягає 0,2 - 0,3.

Переваги плазмового наплавлення:

- висока концентрація теплової потужності і мінімальна ширина зони термічного впливу;
- можливість отримання товщини наплавленого шару від 0,1 мм до декількох міліметрів;
- можливість наплавлення різних зносостійких матеріалів (мідь, латунь, пластмаса) на сталеву деталь;
- можливість виконання плазмового гарту поверхні деталі;
- відносно високий ККД дуги (0,2 ... 0,45);
- мале (в порівнянні з іншими видами наплавлення) перемішування наплавленого матеріалу з основою, що дозволяє досягти необхідних характеристик покриттів.

Недоліки плазмової технології:

- високочастотний шум в комбінації з ультразвуком;
- електромагнітне випромінювання оптичного діапазону (УФ, ІК, видимий спектр);
- іонізація повітря;
- виділення парів матеріалу у вигляді аерозолів;
- недовговічність сопла плазмового пальника внаслідок високотемпературної навантаження;

– складність апаратури вимагає підготовки висококваліфікованого персоналу [12].

#### 1.4 Аналіз базової технології ремонту лопатки

Для відновлення бандажної полки робочої лопатки турбіни середнього тиску на підприємстві використовують ручне плазмово-порошкове наплавлення.

Параметри режимів плазмово-порошкового наплавлення та їх діапазон приведені у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Базові параметри режимів порошково-плазмового наплавлення

Параметр режиму	Діапазон
Зварювальний струм першого імпульсу, А	3 - 30
Напруга, В	10-35
Плазмоутворюючий газ	аргон
Захисний газ	аргон
Витрати плазмоутворюючого газу, л/хв	2 - 3
Витрати захисного газу, л/хв	1,5 - 15
Діаметр вольфрамового електроду, мм	2,4
Витрата порошку, г/хв	0,1 – 10
Діаметр плазмоутворюючого отвору, мм	1,6 - 2,4
Кількість наплавлених шарів	1-5

Щоб забезпечити хімічний склад та механічні властивості наплавленого шару матеріалу близькими до основного матеріалу, було обрано порошок марки ЖС32-ВІ, який відповідав цим вимогам. Його хімічний склад наведено у табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Хімічний склад порошку марки ЖС32-ВІ [6]

C	Ni	Cr	W	Co	Mo	Al	Nb	Re	Ta	Si	Fe
0,12- 0,17	Осн.	4,5- 5,3	8,1- 8,9	9,0- 9,5	0,9- 1,3	5,7- 6,2	1,4- 1,8	3,6- 4,3	3,7- 4,4	≤ 0,2	≤ 0,5

Пост для плазмово-порошкового наплавлення (рис 1.13) складається з наступного обладнання:

- плазмовий пальник;
- джерело основної дуги;
- джерело вторинної дуги;
- блок запалювання;
- блок водяного охолодження;
- дозатор порошку,
- блок керування.



Рисунок 1.13 – Пост для ручного плазмово-порошкового наплавлення

Базова технологія ремонту робочої лопатки має наступні переваги:

- висока концентрація теплової потужності і мінімальна ширина зони термічного впливу;
- мале перемішування основного металу з наплавним;
- можливість отримання наплавленого шару товщиною від 0,1 мм;

Недоліки:

- потреба у високій кваліфікації зварника, щоб уникнути браку, через ручну технологію наплавлення;
- дуже шкідливі умови праці для зварника;
- великі витрати матеріалів для наплавлення, зокрема аргону.

Зважаючи на всі особливості базової технології ремонту бандажної полки робочої лопатки для поліпшення якості наплавних робіт та зменшення їх собівартості за рахунок мінімізації людського фактору і зменшення витрат дорогих матеріалів слід замінити ручне наплавлення на роботизоване.

## 2 ТЕХНІЧНІ УМОВИ НА ВІДНОВЛЕННЯ ЛОПАТКИ

Робоча лопатка турбіни середнього тиску виготовлена зі сплаву ЖС26-ВІ. Лопатка придатна до відновлення якщо її розміри відповідають мінімально допустимим розмірам, що вказані на робочому кресленні деталі. В іншому випадку, лопатку слід відбракувати.

При відновленні бандажної полки даної лопатки використовуються наступні матеріали:

- порошок марки ЖС32-ВІ;
- аргон як захисний і плазмоутворюючий газ.

Контроль якості відновленої лопатки виконується у два етапи:

- візуальний контроль;
- люмінесцентний контроль.

### 2.1 Технічні вимоги до порошку

Щоб забезпечити хімічний склад та механічні властивості наплавленого шару матеріалу близькими до основного матеріалу (ЖС26-ВІ), було обрано порошок марки ЖС32-ВІ. Згідно ТУ 1-92-177-91 ДП «Івченко-Прогрес» до цього порошку ставляться наступні вимоги:

- хімічний склад має відповідати вимогам ТУ (табл. 2.1);
- гранули порошку мають бути правильної сферичної форми з діаметром 40 - 80 мкм;
- партія порошку приймається і перевіряється згідно вимогам ТУ.



Таблиця 2.1 – Хімічний склад порошку марки ЖС32-ВІ

C	Ni	Cr	W	Co	Mo	Al	Nb	Re	Ta	Si	Fe
0,12- 0,17	Осн.	4,5-	8,1-	9,0-	0,9-	5,7-	1,4-	3,6-	3,7-	≤	≤
		5,3	8,9	9,5	1,3	6,2	1,8	4,3	4,4	0,2	0,5

## 2.2 Технічні вимоги до захисного і плазмоутворюючого газу

У якості захисного і плазмо утворюючого газу при плазмово-порошковому наплавленні використовується аргон вищого сорту. Аргон виготовляється і приймається на підприємстві згідно ГОСТ 10157-2016 «Аргон газоподібний і рідкий. Технічні умови». Вимоги до його складу наведені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Норми хімічного складу аргону вищого сорту

Показник	Норма
Об'ємна доля аргону, %, не менше	99,993
Об'ємна доля кисню, %, не більше	0,0007
Об'ємна доля азоту, %, не більше	0,005
Об'ємна доля водяних парів, %, не менше, що відповідає температурі насичення аргону водяними парами при тиску 101,3 кПа, °С, не вище	0,0009  мінус 61
Об'ємна доля вуглецевмісних з'єднань в перерахунок на CO <sub>2</sub> , %, не більше	0,0005

### 2.3 Технічні вимоги до контролю якості

Контроль якості відновленої лопатки виконується у два етапи:

- візуальний контроль;
- люмінесцентний контроль.

Візуальний контроль проводиться для первинного огляду наплавленого шару і дозволяє виявити дефекти розміром від 0,1 мм. Цей вид контролю проводиться згідно вимогам ГОСТ 3242-79.

Люмінесцентний (капілярний) контроль виконується для більш ретельного виявлення дефектів за допомогою набору ЛЮМ1-ОВ. Цей вид контролю проводиться згідно вимогам ГОСТ 18442-80.

### 3 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ РЕМОНТУ РОБОЧОЇ ЛОПАТКИ

Технологія порошково-плазмового наплавлення робочої лопатки це дуже клопіткий процес, що потребує детального розроблення технологічного процесу і чіткого його виконання. Технологічна схема відновлення робочої лопатки (рис. 3.1) включає в себе наступні етапи:

- а) вхідний контроль та механічна обробка поверхні під наплавлення;
- б) позиціонування лопатки у пристосуванні під наплавлення;
- в) відновлення бандажної полки робочої лопатки порошково-плазмовим наплавленням;
- г) приймання і контроль якості відновленої лопатки.



Рисунок 3.1 – Технологічна схема відновлення лопатки

#### 3.1 Підготовка виробу до наплавлення

Бандажна полка робочої лопатки ТСТ підготовлюється під наплавлення способом механічного очищення до металевого блиску від нагару, іржі та теплостійких покриттів вручну на довжину 5-10 мм від торця, що

наплавляється, за допомогою шліфувальних дисків. Цей спосіб забезпечує 100% очищення поверхні, але за умови достатньої кваліфікації робітника.

На рисунку 3.2 наведено креслення бандажної полки робочої лопатки ТСТ підготовленої під наплавлення.

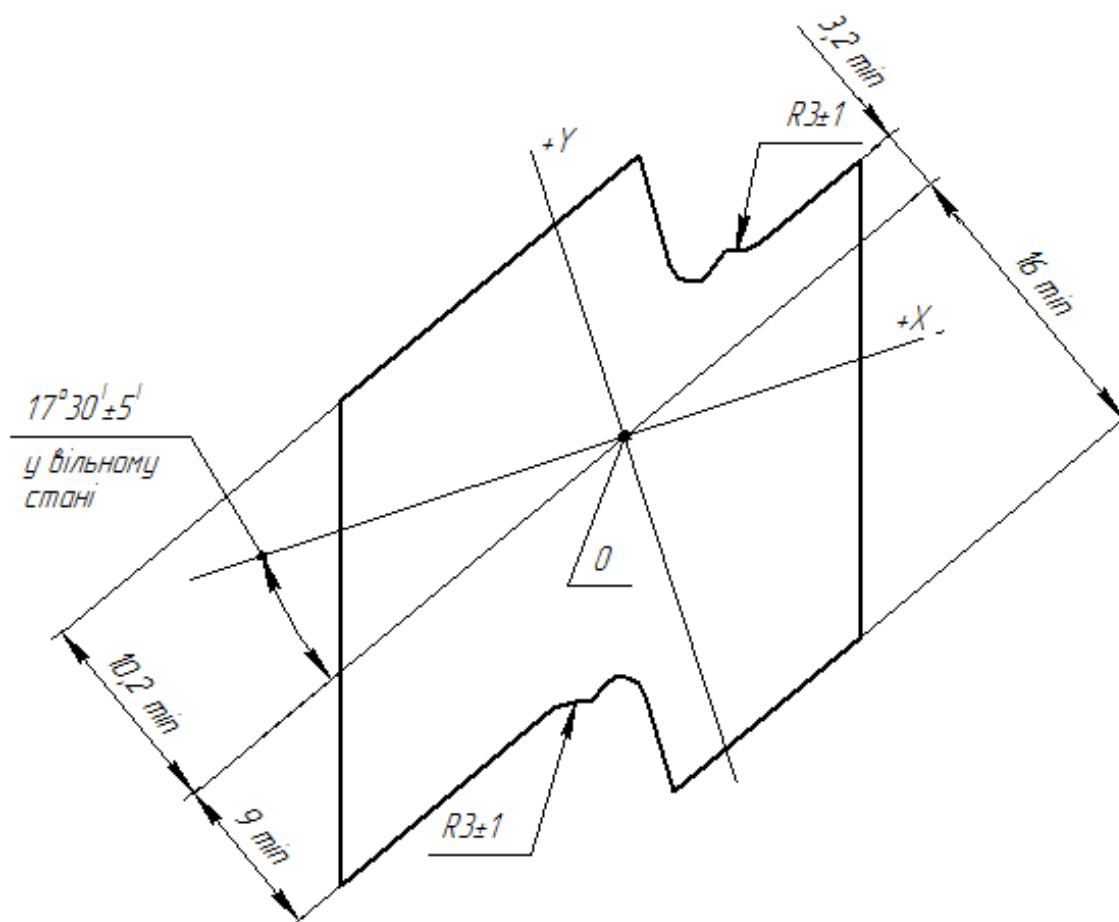


Рисунок 3.2 – Бандажна полка робочої лопатки ТСТ підготовленої під наплавлення.

### 3.2 Вибір матеріалів для наплавлення

Щоб забезпечити хімічний склад та механічні властивості напавленого шару матеріалу близькими до основного матеріалу, було обрано порошок марки ЖС32-ВІ (табл. 2.1), який відповідав цим вимогам.

Хімічний склад наплавленого металу та його механічні властивості наведено у таблицях 3.1 та 3.2 відповідно

Таблиця 3.1 - Хімічний склад наплавленого металу

C	Ni	Cr	W	Co	Mo	Al	Nb	Re	Ta	Si	Fe
0,12- 0,17	Осн.	4,4-	8,2-	8,9-	0,9-	5,7-	1,3-	3,4-	3,5-	≤	≤
		5,2	9,1	9,3	1,3	6,2	1,6	4,1	4,2	0,2	0,5

Таблиця 3.2 – Механічні властивості наплавленого металу при 20°C

$\sigma_B$ , кгс/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	$\psi$ , %	HRC	Час до руйнування при температурі 850°C під навантаженням 26 кгс/мм <sup>2</sup> , год
95,1	20	24,8	35...39	54,5

Структуру відновленої лопатки (порошково-плазмове наплавлення виконано у 4 слої) наведено на рисунку 3.3.

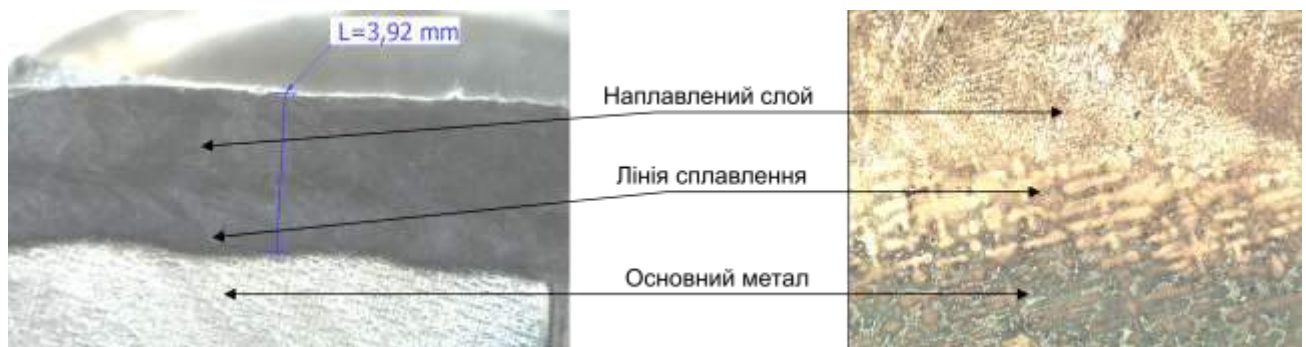


Рисунок 3.3 – Структура наплавленої ділянки лопатки (x200)

### 3.3 Вибір оптимальних параметрів режимів наплавлення

Оптимальні параметри режиму порошково-плазмового наплавлення було обрано в результаті аналізу заводських даних та наведені у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Параметри режиму порошково-плазмового наплавлення лопатки

Зварювальний струм першого імпульсу, А	30
Час імпульсу, с	0,3
Пауза, с	0,2
Зварювальний струм другого імпульсу, А	5
Напруга, В	30
Плазмоутворюючий газ	аргон
Витрати плазмоутворюючого газу, л/хв	2 - 3
Захисний газ	аргон
Витрати захисного газу, л/хв	6 - 8
Діаметр вольфрамового електроду, мм	2,4
Витрата порошку (ЖС32-ВІ), г/хв	10,0 – 12,5
Діаметр плазмоутворюючого отвору, мм	2,4
Кількість наплавлених шарів	4

### 3.4 Технологія і техніка наплавних робіт

Відновлення робочої лопатки турбіни середнього тиску виконується на установці для порошково-плазмового наплавлення за допомогою роботоманіпулятора.

Заготовка встановлюється у пристосування під наплавлення за допомогою прижимного пристрою. На бондажну полку лопатки встановлюється мідний формуючий пристрій.

Наплавлення виконується за заданими технологією режимом плазмовою дугою комбінованої дії (рис. 3.4). Наплавлення виконується у 4 слої, товщина кожного слою 1 мм, глибина проплавлення 0,1 мм, слої виконуються по чергово за напрямком «змійка» (рис 3.5).

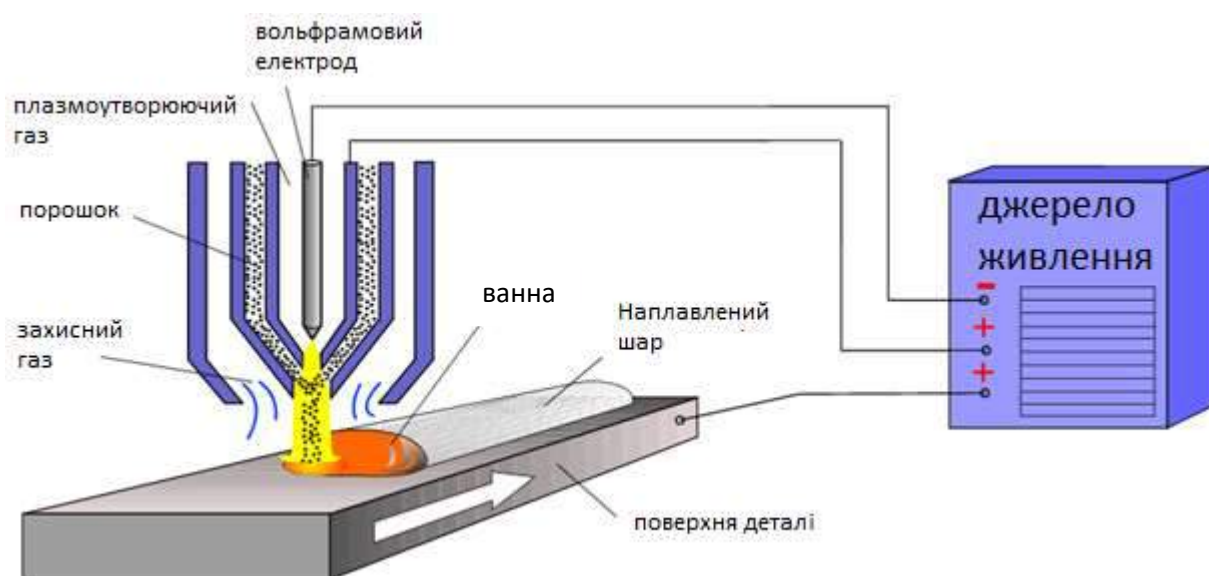


Рисунок 3.4 – Схема порошково-плазмового наплавлення дугою комбінованої дії

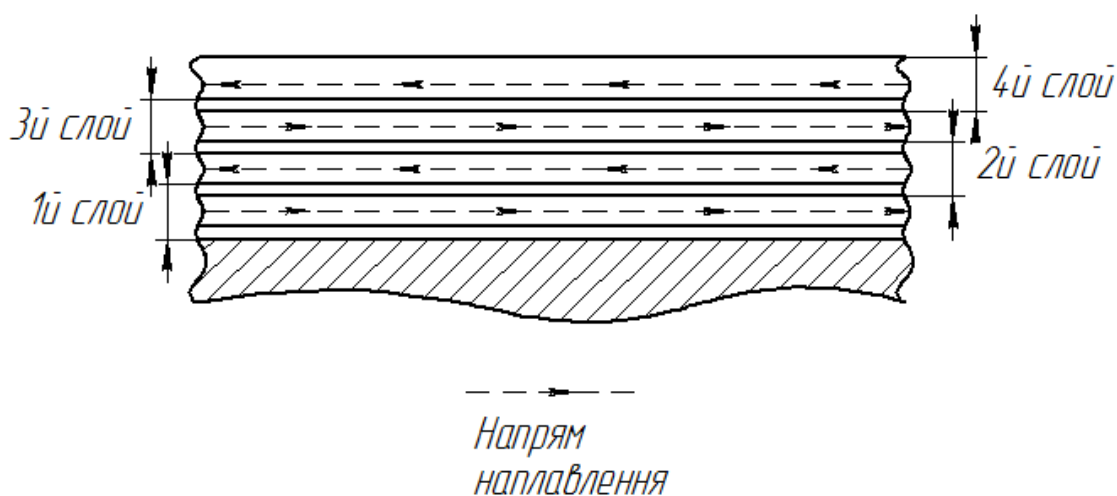


Рисунок 3.5 – Схема порядку виконання наплавлення валиків.

## **ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПОРОШКОВО-ПЛАЗМОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ**

Нова технологія відновлення робочої лопатки турбіни середнього тиску двигуна ТД-500 передбачає заміну ручної праці на роботизовану, з метою покращення якості наплавних робіт та економії наплавлювальних матеріалів, зокрема дорогого газу – аргону, тому було обрано обладнання, що відповідає вимогам нової технології та спроектовано пристосування для фіксації лопатки у положенні під наплавлення.

### 4.1. Розробка обладнання для позиціонування лопатки під наплавлення

Затискний пристрій для встановлення робочої лопатки ТСТ під процес відновлення бандажної полки (рис. 4.1) призначене для надійного фіксування робочої лопатки, що піддається відновленню. На бандажну полку робочої лопатки встановлюється мідний формуючий пристрій. Він призначений для якісного формування наплавлених валиків, шляхом попередження стікання ванни розплавленого металу з кромки деталі. Пристосування передбачає можливість зміни положення робочої лопатки у разі зміни технології ремонту або виконання інших операцій.



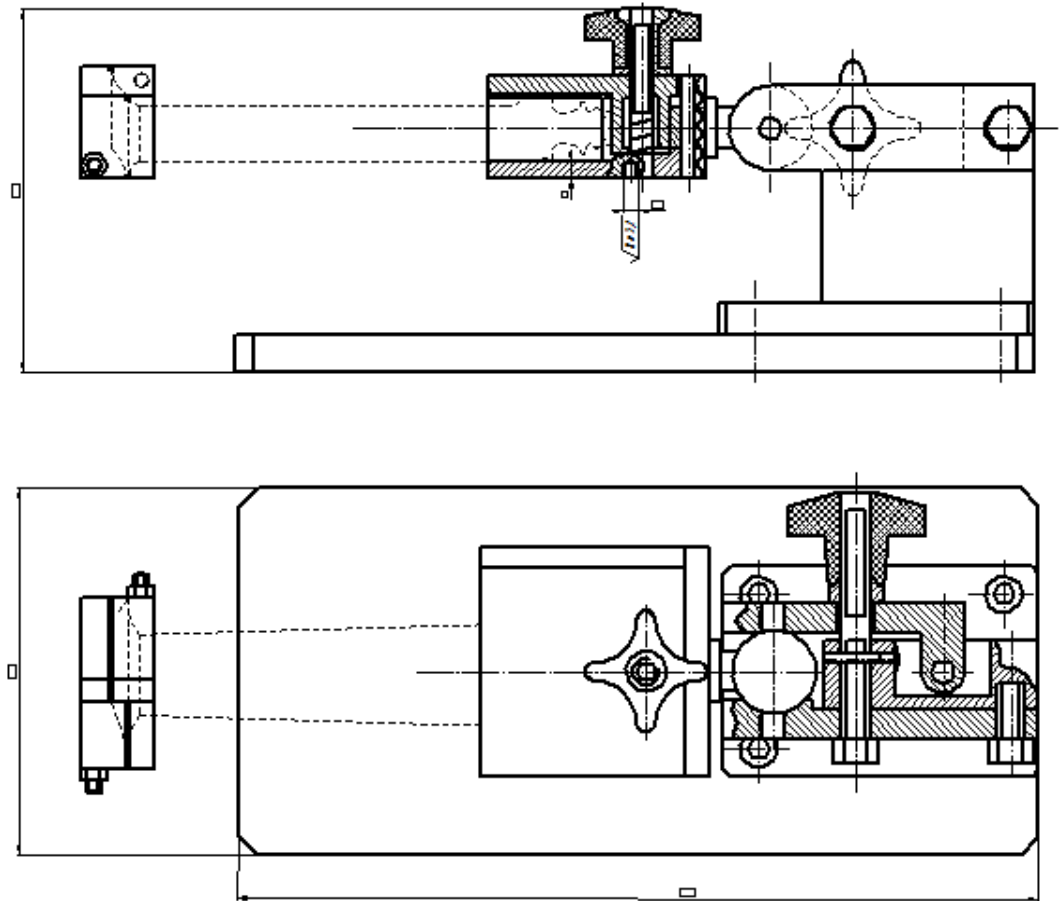


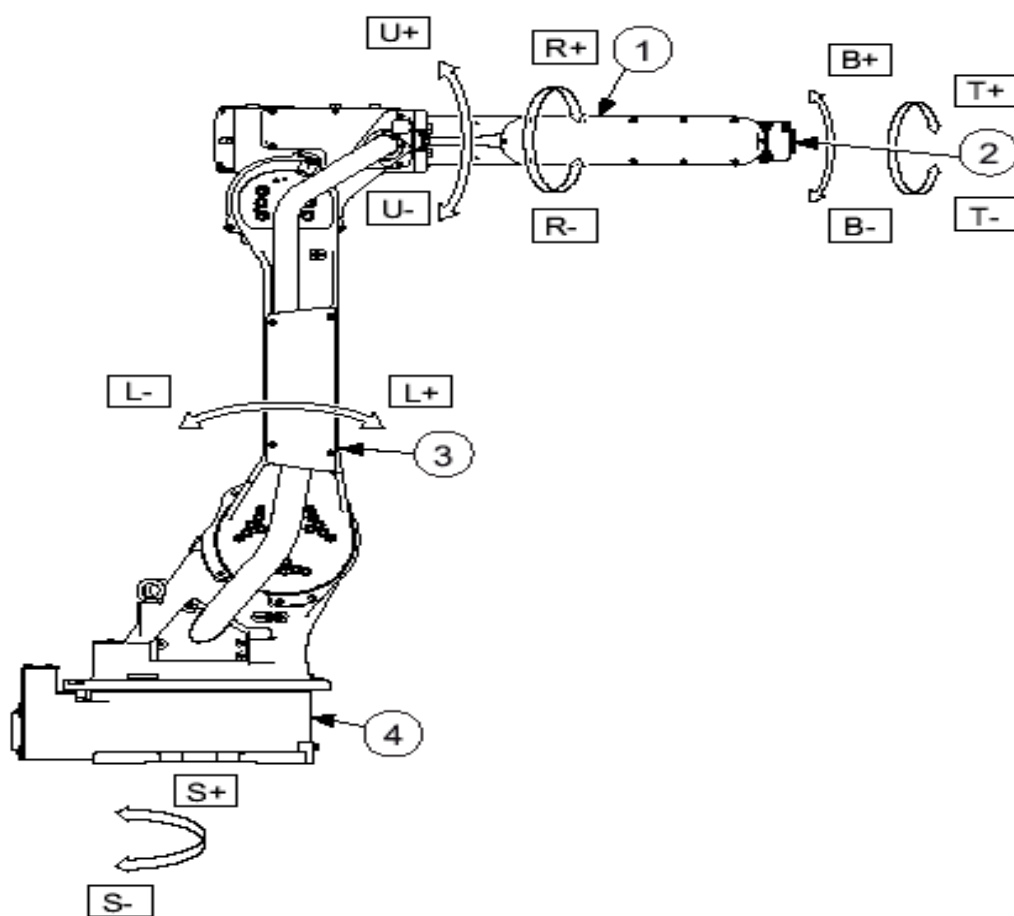
Рисунок 4.1 – Пристосування для встановлення робочої лопатки під процес відновлення бандажної полки.

## 4.2 Вибір стандартного обладнання

1. Маніпулятор YASKAWA Motoman HP20P (рис. 4.2) до комплекту

якого входять

- робот;
- контролер DX100;
- підвісний пульт програмування DX100;
- 3 кабелі з'єднання між контролером і роботом.



1 – звено U; 2 – зап'ястя маніпулятора; 3 – рука L; 4 – основа робота

Рисунок 4.2 – Робот маніпулятор HP20P і його робочі вісі

Технічні характеристики маніпулятора наведено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Технічні характеристики HP20P

Призначення		Електродугове зварювання
Тип конструкції		Вертикальна
Ступенів волі		6
Корисне навантаження		20 кг
Точність повторного позиціонування		$\pm 0,06$ mm
Діапазон руху	Ось S (обертання)	$\pm 180^\circ$
	Ось L (передпліччя)	$+155^\circ, -110^\circ$
	Ось U (плечо)	$+255^\circ, -165^\circ$
	Ось R (поворот зап'ястя)	$\pm 200^\circ$
	Ось В (похил зап'ястя)	$+230^\circ, -50^\circ$
	Ось Т (закручування зап'ястя)	$\pm 360^\circ$
Максимальна швидкість	Ось S	3,44 рад/с, 197 °/с
	Ось L	3,05 рад/с, 175°/с
	Ось U	3,26 рад/с, 187°/с
	Ось R	6,98 рад/с, 400°/с
	Ось В	6,98 рад/с, 400°/с
	Ось Т	10,47 рад/с, 600°/с
Допустимий момент	Ось R	39,2 Nm
	Ось В	39,2 Nm
	Ось Т	19,6 Nm
Допустимий момент інерції ( $GD^2/4$ )	Ось R	1,05 кгм <sup>2</sup>
	Ось В	1,05 кгм <sup>2</sup>
	Ось Т	0,75 кгм <sup>2</sup>

## Продовження таблиці 4.1

Маса		257 кг
Умови навколишнього середовища	Температура	від 0° до +45° С
	Вологість	20 – 80% відносна вологість
	Пришвидшення вібрацій	4,9 м/с <sup>2</sup> [0,5 G] чи менше.
	Інші	Відсутність корозійно-активних або вибухонебезпечних газів або рідин Відсутність впливу води, масла або пилу Відсутність надмірних електричних перешкод (плазма)
Вимоги до електроживлення		2,8 кВА

2. Плазмотрон (рис. 4.3) – призначений для плазмового наплавлення вольфрамовим електродом. Його технічні характеристики наведено у таблиці 4.2, а його робоче положення відносно лопатки на рисунку 4.4.



Рисунок 4.3 – Плазмотрон

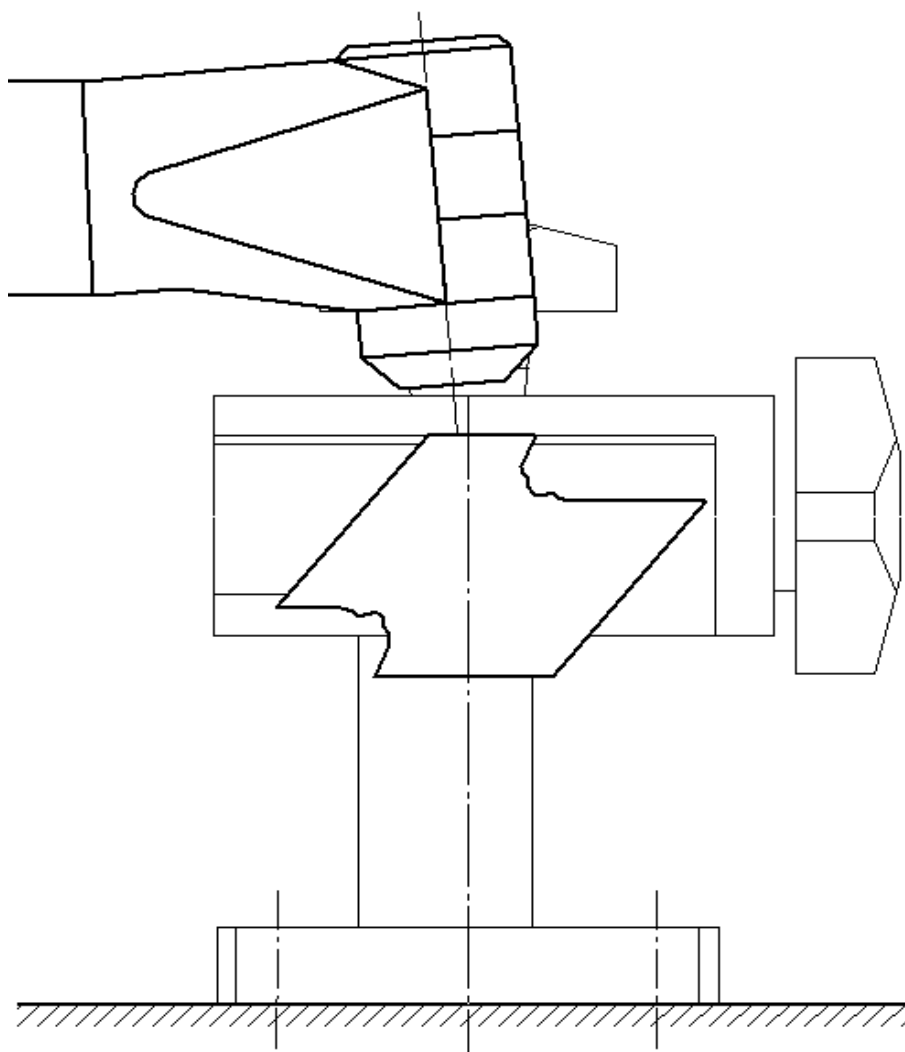


Рисунок 4.4 – Робоче положення плазмотрону відносно лопатки

Таблиця 4.2 – Технічні характеристики плазмотрона

Номінальний зварювальний струм при ТН 100%, А	60
Номінальний зварювальний струм при ТН 60%, А	80
Максимальна пілотна сила струму (ТН 100%), А	15
Максимальна швидкість наплавлення, кг/год	1,5
Діаметр вольфрамового електроду, мм	2,4
Діаметр плазмоутворюючого сопла, мм	1,6 - 2,4
Мінімальна витрата охолоджуючої рідини л/хв	1
Вага, г	150

3. Джерело струму УПНС-304м – джерело струму призначене для зварювання та наплавлення на постійному струмі прямої полярності, в тому числі і в імпульсному режимі. Його технічні характеристики приведено у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Технічні характеристики УПНС-304м [13]

Напруга мережі живлення, В	380
Номінальний зварювальний струм при ТН 100%, А	315
Напруга холостого ходу, В	-
Робоча напруга, В	27
Діапазон регулювання струму	5 - 160
Діапазон регулювання імпульсів і пауз, с	0,1 – 0,3
Габаритні розміри, мм	1200x680x2800
Маса, кг	400

3. Дозатор порошку з бункером – призначений для зберігання порошку та введення його в зону наплавлення і потрібній для процесу кількості. Регулювання подачі порошку виконується пневматичним способом - порошок транспортується рухомим під незначним надлишковим тиском газом (аргоном). Технічні характеристики цієї системи наведено у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Технічні характеристики системи дозування порошку

Об'єм бункеру для порошку, л	2
Діапазон регулювання подачі порошку у плазмову струю, г/хв	0,2 - 5
Плавне регулювання подачі порошку у плазмову струю	так

4. Рампа з балонами – на ділянці розташована рама з двома балонами з аргонном ємністю 40 л кожний.

Балон – це металева ємність призначена для зберігання і транспортування газів і рідин. Технічні характеристики балону для зберігання аргону наведені у таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Технічні характеристики балону для зберігання аргону [14]

Об'єм, л	40
Конструкція	Лита металева
Діаметр, мм	219
Довжина балону, мм	1460
Товщина стінки, мм	6
Робочий тиск, МПа	14,7
Вага балону (пустого), кг	65
Колір балону	Сірий
Колір напису	Зелена

### 4.3 Контроль якості і методи усунення дефектів

Візуальний контроль (ВК) наплавлення є первинним методом виявлення видимих дефектів наплавленого покриття. Найпростіший візуальний контроль якості наплавлення виконує людина, що здійснює зварювальні роботи.

Такий спосіб контролю дозволяє на початковому етапі виправляти зауваження і недоліки, та є найпростішим і поширеним способом діагностики неруйнівного характеру.

Виконується ВК за допомогою як звичайного візуального огляду, так і за допомогою додаткових інструментів: лінз, мікроскопа, ендоскопа, рулетки, щупів, штангенциркуля і інших.

Дефекти, помічені при візуальному контролі, швидко можуть бути усунені до використання іншого способу діагностики. Перед застосуванням ВК досліджувані місця повинні бути очищені від масла, іржі, фарби, бруду, окалини, бризок металу та інших видів забруднень, що перешкоджають якісному проведенню огляду.

1. Контролер виконує візуальний огляд наплавленого шару на наявність пошкоджень, корозійних утворень, і невідповідностей геометрії.
2. Після простих вимірювань контролер складає акт з чітким зазначенням всіх знайдених дефектів і невідповідностей.
3. Після складання акту проводиться більш глибока, детальна і глибока перевірка. За допомогою неруйнівних методів контролю (капілярний контроль).

Основною перевагою візуального контролю зварних з'єднань є простота використання даного методу, достовірність отриманої інформації про мінімум 50% всіх наявних недоліків, а також легка повторна перевірка при необхідності. До головного же нестачі цього методу діагностики можна не віднести високу ймовірність людського фактора і загальну суб'єктивність кожної людини займається дослідженням, а також неможливість виявлення за допомогою ВК внутрішніх дефектів у швах.



Після первинного огляду виконується капілярній контроль якості за допомогою набору ЛЮМ1-ОВ.

Технологічна схема контролю складається з наступних операцій:

- підготовка поверхні (попереднє очищення);
- нанесення пенетранта;
- видалення надлишків пенетранта з поверхні (проміжна промивка);
- нанесення проявника;
- огляд і оцінка стану поверхні;
- очищення поверхні.

Огляд поверхні проводиться відразу після нанесення проявника або після його висихання. Індикаторні сліди (малюнки) проявляються у вигляді світних жовто - зелених ліній і точок, що відповідають малюнку дефектів, при опроміненні поверхні ультрафіолетовим світлом. Умови проведення огляду

Огляд проводиться в затемненому приміщенні при опроміненні контрольованої поверхні ультрафіолетовим світлом з довжиною хвилі 315 - 400 нм. Інтенсивність опромінення на поверхні відповідно до ГОСТ 18442-80 для I класу чутливості повинна бути 1000-3000 мкВт/см<sup>2</sup>. Ділянка огляду в ультрафіолетовому світлі повинен бути освітлений світильниками відбитого або розсіяного світлорозподілу, що забезпечують освітленість видимим світлом 10 люкс. Освітленість видимим світлом від ультрафіолетового опромінювача не більше 30 люкс.

Індикаторні малюнки дефектів (якщо такі є) проявляться, як тільки проявник висохне, проте рекомендується витримати 30 - 60 хвилин. Більш тонкі і щільні дефекти вимагають більш тривалого часу. Такі дефекти як вальцювальні тріщини, втомні тріщини, щільні і глибокі ливарні дефекти виявляються після витримки протягом до 8 - 15 годин. Час витримки до остаточної оцінки стану поверхні встановлюється технологічно в кожному конкретному випадку.

Швидкість проявлення, яскравість світіння, так само як і малюнок сліду вказують на тип дефекту. Протяжні індикаторні сліди вказують на тріщини,

складки, відсутність сплаву. Частково сплавлені на поверхні тріщини проявляються у вигляді точок, що утворюють пряму або криву лінію. Пористість проявляється у вигляді розсіяних точкових індикацій.

Критерії відбракування деталі визначаються розробником виробу - головним конструктором. Не всі індикаторні малюнки можуть служити приводом для відбраковування.

Оцінка стану поверхні (відповідає / не відповідає або придатна / не придатна) проводиться порівнянням з нормами і критеріями якості, зазначеними в нормативній документації.

Якщо в ході контролю якості було виявлено недопустимі дефекти такі як тріщини і несплавлення, то слід механічним способом видалити наплавлений шар з дефектами та повторити операцію з відновлення лопатки.

Можливість повторного наплавлення ускладнюється через високотемпературний вплив плазмової дуги на матеріал лопатки і накопиченні навантажень. Тому лопатка може повторно відновлюватись не більше двох разів і лише за умови проведення високотемпературного гартування лопатки у електричній печі за такими режимами:

- а) температура гартування 1000°C;
- б) час гартування 600 с.

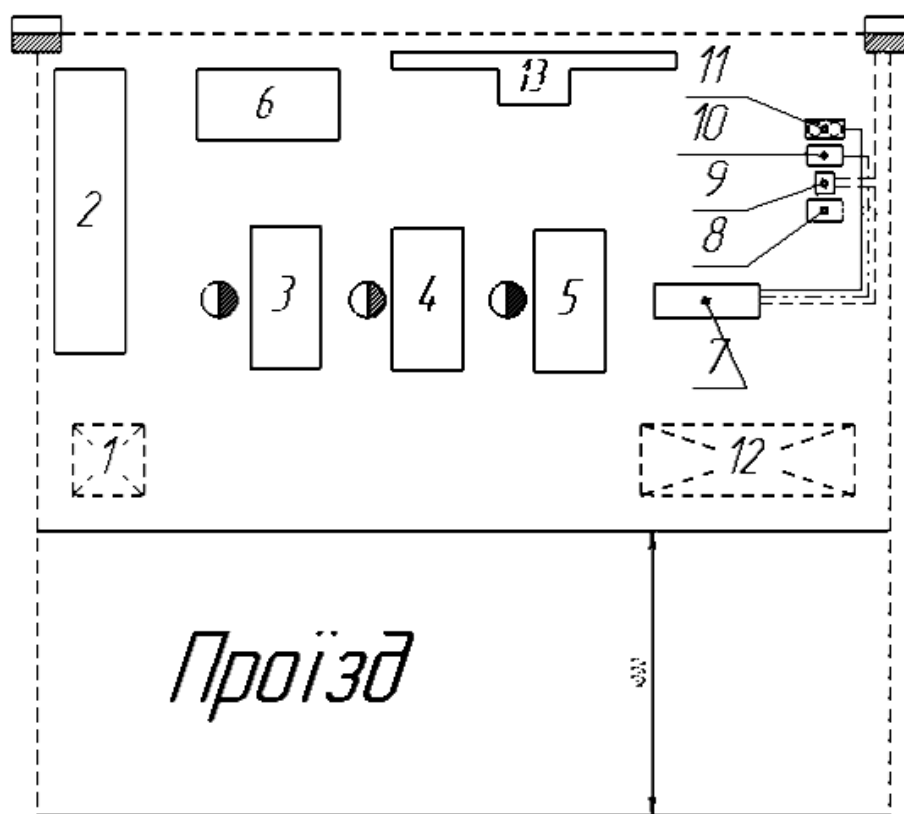
#### 4.4 Технічне планування ділянки для ремонту робочої лопатки

Для планування ділянки для наплавлення обираємо ділянку стандартних розмірів:

- а) шаг між колоннами 12 м;
- б) ширина пролету 18 м;
- в) висота стелі 9 м;
- г) ширина проїзду 4 м.

На ділянці окрім стандартного обладнання для наплавлення ( позиції 7, 8, 9, 10, 11 рис. 4.5) розташовані наступні елементи:

- а) ящик із заготовками (позиція 1 рис. 4.5);
- б) стенд із допоміжним обладнанням і інструментом (позиція 2 рис. 4.5);
- в) стіл для механічної обробки заготовок (позиція 3 рис. 4.5) на якому розташований заживний та шліфувальний пристрій;
- г) стіл для контролю якості (позиція 4 рис. 4.5) з набором для капілярного контролю ЛЮМ1-ОВ;
- д) стіл для наплавлення (позиція 5 рис. 4.5) на якому розташований пристрій для позиціонування і фіксування лопатки, що відновлюється;
- е) слюсарний верстат (позиція 6 рис. 4.5) на якому лещата та обладнання для механічної обробки (точіння, свердління);
- ж) склад готової продукції (позиція 12 рис. 4.5);
- з) пожежний щит (позиція 13 рис. 4.5), що обов'язково має бути укомплектований:
  - вогнегасник порошковий (10л);
  - крюк с дерев'яною ручкою;
  - комплект для різання електропроводів;
  - азбестове полотно;
  - лопата совкова;
  - ящик з піском (0,5м<sup>2</sup>).



1 – ящик із заготовками; 2 – стенд із допоміжним обладнанням і інструментом; 3 – стіл для механічної обробки; 4 – стіл для контролю якості; 5 – стіл для наплавлення; 6 – слюсарний верстат; 7 – робот НР20Р; 8 – джерело живлення УДГ-1601; 9 – система водяного охолодження БАО-7; 10 – система подачі порошку; 11 – рампа з балонами; 12 – склад готової продукції; 13 – пожежний щит.

Рисунок 4.5 – Діляниця для порошково-плазмового наплавлення

## 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ДІЛЬНИЦІ

### 5.1 Організація дільниці з відновлення порошково-плазмовим наплавленням робочої лопатки ТСТ

Одним із найважливіших завдань організації виробництва є забезпечення найменшої тривалості виробничого процесу, тобто циклу виготовлення продукції.

При нормуванні заготівельних робіт, робіт зі зварювання потрібно брати до уваги серійний характер виробництва, який впливає на структуру норми часу.

Норми часу на процес відновлення лопаток за новою технологією представлені в табл. 5.1 та за старою технологією у табл. 5.2.

Таблиця 5.1 – Технічне нормування операцій за новою технологією

№	Найменування операцій	Норма штучного часу, н/год
1	Підготовка поверхні під наплавлення	0,1
2	Відновлення лопатки	0,15
3	Підготовчо-завершальний час	0,1
4	Норма часу на одиницю виробу	0,35

Таблиця 5.2 – Технічне нормування операцій за старою технологією

№	Найменування операцій	Норма штучного часу, н/год
1	Підготовка поверхні під наплавлення	0,1
2	Відновлення лопатки	0,5
3	Підготовчо-завершальний час	0,1
4	Норма часу на одиницю виробу	0,7

### 5.2 Виробнича програма і її матеріальне забезпечення

Основою для розрахунку ділянки з відновлення лопаток є виробнича програма в штуках.

У данному дипломному проекті приймаємо виробничу програму з відновлення лопаток ТСТ рівною 10000 зразків. (табл. 5.3). Вартість матеріалів для відновлення лопатки способом порошково-плазмового наплавлення на одиницю виробу і на програму приведено в таблиці 5.4.

Таблиця 5.3 – Виробнича програма зразків за рік

Найменування виробу	Норма часу на виріб , н/год	Виробнича програма	
		штук	н/год
Робоча лопатка ТСТ	0,35	10000	3500

Таблиця 5.4 - Розрахунок потреби в матеріалах, і їх вартість

Найменування матеріалу	Норма витрати		Ціна за 1 кг матеріалу, грн	Вартість на програму, грн
	На виріб, кг	На програму, кг		
Порошок марки ЖС32-ВІ	0,02	20	200	4000
Захисний та плазмо утворюючий газ Ar	50	500000	8	4000000
Всього				4004000

Транспортні витрати складають 10% від вартості виробів –400400 грн.

Балансова вартість матеріалів з урахуванням транспортних витрат:

$$4004000 + 400400 = 4404400 \text{ грн}$$

### 5.3 Розрахунок кількості обладнання та площі ділянки

На даній виробничій ділянці однозмінний режим роботи при п'ятиденному робочому тижні – 40 годин. Тривалість робочої зміни 8 годин.

Номінальний фонд часу роботи обладнання для однозмінного режиму роботи прийнятий 2000 годин.

Ефективний (дійсний) фонд часу роботи обладнання за рік визначається за формулою:

$$F_{\text{эф}}^{\text{об}} = F_{\text{ном}} \cdot (1 - K_{\text{в}}) = 2000 \cdot (1 - 0,07) = 1860 \text{ год} \quad (5.1)$$

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

$K_{\text{в}}$  – коефіцієнт витрат часу на ремонт та обслуговування обладнання,  $K_{\text{в}} = 0,07$ .

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

Розрахунок кількості одиниць устаткування певного типу робиться по формулі:

$$C_{pi} = \frac{\sum_{i=1}^m t_i N_i}{F_{\text{эф}}^{\text{об}}} \quad (5.2)$$

де  $m$  – кількість видів робіт;

$t_i$  – норма часу  $i$ -ої операції, год;

$N_i$  – річна програма  $i$ -го виробу, шт;

$F_{\text{эф}}^{\text{об}}$  - ефективний фонд роботи устаткування за рік, год.

Розрахунок кількості обладнання:

а) для механічної обробки:

$$C_p = \frac{0,1 \cdot 100}{1860} = 0,054 \text{ од};$$

Коефіцієнт завантаження устаткування  $K_{\text{зав}} = 0,054/1=0,054$

б) для наплавлення:

$$C_p = \frac{0,15 \cdot 1000}{1860} = 0,08 \text{ од};$$

Коефіцієнт завантаження устаткування  $K_{\text{зав}} = 0,08/1=0,08$



Розрахунок кількості устаткування, його вартості і потужності наведено у таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Розрахунок кількості устаткування, його вартості і потужності

Устаткування	Кількість устаткування, шт	Коефіцієнт завантаження, Кз	Ціна устаткування за прејскурантом, грн	Потужність двигунів кВт/год
Набір устаткування механічного очищення поверхні	1	0,054	200	-
Робот YASKAWA-HP20D	1	0,15	309900	3
Всього	2		310100	

Транспортні витрати складають 10% від вартості устаткування – 31010 грн.

Балансова вартість устаткування з урахуванням транспортних витрат:

$$Q_{\text{обор}} = 310100 + 31010 = 341110 \text{ грн}$$

Балансова вартість цінного інструменту складає 3 % балансовій вартості устаткування:

$$Q_{\text{инстр}} = 341110 \cdot 0.03 = 102333 \text{ грн}$$

Балансова вартість виробничого інвентаря приймаємо 2 % від вартості устаткування, а господарського 110 грн на одного робітника і 165 грн на одного ІТР.

$$Q_{инв} = 341110 \cdot 0.02 + 660 = 7482,2 \text{ грн}$$

де 2200 - вартість господарського інвентаря, грн

Площа ділянки  $4 \times 9 = 36 \text{ м}^2$  вартість будівлі 36000 грн.

Розрахунок основних основних фондів і амортизаційні відрахування наведено у таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Основні фонди ділянки їх структура і амортизаційні відрахування

Групи основних фондів	Балансова вартість, грн	Структура, %	Термін експлуатації (роки)	Річні амортизаційні відрахування, грн
Будівлі	36000	9,03	45	4800
Споруди	4000	1	30	180
Устаткування	341110	85,52	15	4304,6
Інструмент	10233,3	2,57	5	387,4
Інвентар	7482,2	1,88	3	1163,8
Загалом	398825,5	100		29139,8

#### 5.4 Розрахунок кількості персоналу ділянки

Чисельність основних працівників на нормованих роботах ділянки по кожній професії визначається по формулі:

$$R_o = \frac{\sum_{i=1}^m t_i N_i}{F_{\phi}^p K_{BH}}, \quad (5.3)$$

де  $m$  – кількість видів робіт;

$t_i$  – норма часу  $i$ -ої операції, год;

$N_i$  – річна програма  $i$ -го виробу шт;

$K_{BH} = 1,05$  – коефіцієнт виконання норм вироблення;

$F_{\phi}^p$  - ефективний фонд роботи робітника в рік визначається по формулі

$$F_{\phi}^p = F_{НОМ} (1 - h) \text{ ч}, \quad (5.4)$$

$$F_{\phi}^p = 1860 \text{ год}$$

Розрахунок кількості працівників:

- кількість робітників на зачислу та операцію:

$$R_o = \frac{\sum_{i=1}^m t_i N_i}{F_{\phi}^p K_{BH}} = \frac{0,1 \cdot 10000}{1860 \cdot 1,05} = 0,5 \text{ чол}$$

- кількість робітників на наплавлювальну операцію :

$$R_o = \frac{\sum_{i=1}^m t_i N_i}{F_{\phi}^p K_{BH}} = \frac{0,15 \cdot 10000}{1860 \cdot 1,05} = 0,77 \text{ чол}$$

- кількість робітників на якості:

$$Ro = \frac{\sum_{i=1}^m t_i N_i}{F_o^p K_{BH}} = \frac{0,1 \cdot 10000}{1860 \cdot 1,05} = 0,5 \text{ чол}$$

На підставі розрахунків можна зазначити, що робітники за вище зазначеними операціями є не завантаженими в повному обсязі. Це відповідає сучасній ситуації багатьох підприємств. Тому було б доцільно використовувати сумісництво операцій.

Чисельність допоміжних робітників визначається по нормах обслуговування і по робочих місцях. Для ділянки необхідно: 1 зварника-оператор, 1 слюсар, 1 контролер, 1 наладчик та 1 електрик-ремонтник.

Визначення потреби в ІТР робиться на підставі структури управління : 1 інженер-технолог, 1 майстер.

Для забезпечення належного протікання технологічного процесу зварювання потрібно робітників відповідних кваліфікацій.

Загальна чисельність персоналу приведена в таблиці 5.7

Таблиця 5.7 - Загальна чисельність персоналу

Професія	Форма оплати праці	Кількість працівників, чол	по розрядах		
			4	5	6
Основні:					
Зварник-оператор	Відрядно-преміальна	1	1		
Контролер		1		1	
Слюсар		1	1		

Продовження таблиці 5.7

Допоміжні:					
Наладчик	Почасово-преміальна	1		1	
Електрик-ремонтник		1			1
ІТР:					
Технолог	Штатно-окладна	1			
Майстер		1			
Всього		7	2	2	1

### 5.5 Фонд оплати праці

Сума заробітної плати, яка виплачується працівникам підприємства, утворює фонд заробітної плати. Фонд заробітної плати розраховується згідно з прийнятими формами і системами оплати праці. Цей показник розраховується окремо по кожній групі працівників, і в цілому по ділянці.

Річний фонд зарплати складається з тарифного фонду доплат, і премій.

Тарифний фонд заробітної плати основних працівників - відрядників розраховується по формулі:

$$Z_{\text{відрядників}} = N_i \sum_{i=1}^n P_i, \quad (5.5)$$

де  $N_i$  - річна виробнича програма, шт;

$n$  - кількість операцій технологічного процесу;

$P_i$  - розцінка на операцію розраховується по формулі:

$$P_i = c_i \cdot t_i, \quad (5.6)$$

де  $c_i$  - годинна тарифна ставка відповідного розряду, грн;

$t_i$  - норма часу на операцію, год;

Розрахунок розцінок зведений в таблиці 5.8

Таблиця 5.8 – Розрахунок розцінок за операціями

Операція	Норма часу, год	Розряд	Годинна тарифна ставка, грн.	Розцінка, грн.
Слюсар	0,10	4	50	5
Зварник	0,15	5	65	9,75
Контролер	0,10	4	50	5
Всього	0,35			19,75

Тарифний фонд заробітної плати основних працівників складає:

$$Z_{\text{сд.}} = 19,75 \cdot 10000 = 197500 \text{ грн}$$

Додаткова заробітна основних робітників, премії з фонду зарплати 60 %

$$Z_{\text{доп}} = 197500 \cdot 0,6 = 118500 \text{ грн.}$$

Премії з прибутку 15% від фонду зарплати

$$Z_{\text{прем}} = 197500 \cdot 0,15 = 29625 \text{ грн}$$

Річний фонд заробітної плати основних робітників.

$$Z_{\text{год}} = 197500 + 118500 + 29625 = 345625 \text{ грн.}$$

Тарифний фонд заробітної плати допоміжних працівників – погодинників визначається по формулі:

$$Z_{\text{всп}} = C_1 \cdot K_{\text{тар.сред.}} \cdot F^{\text{р}}_{\text{эф.}} \cdot R_{\text{вспом}} \quad (5.7)$$

де  $C_1$  – годинна тарифна ставка першого розряду, грн;

$R_{вспом}$  – чисельність допоміжних працівників, чол;

$K_{тар.сред.}$  – середній тарифний коефіцієнт:

$$K_{тар.сред.} = \frac{\sum_{i=1}^m kiRi}{R_{вспом}}, \quad (5.8)$$

де  $m$  – количество разрядов вспомогательных работников, чол;

$k_i$  – тарифный коэффициент  $i$ -ого разряд;

$R_i$  – кількість допоміжних працівників  $i$ -ого розряду;

$R_{вспом}$  – кількість допоміжних робітників  $i$ -ого розряду.

$$K_{тар.сред.} = \frac{1,7 \cdot 1 + 1,5 \cdot 1}{2} = 1,6$$

$$З_{всп} = 10,5 \cdot 1,6 \cdot 1860 \cdot 2 = 62496 \text{ грн.}$$

Заплановані доплати і премії – 50 % від тарифного фонду:

$$62496 \cdot 0,5 = 31248 \text{ грн}$$

Премії з прибутку:

$$62496 \cdot 0,15 = 9374,4 \text{ грн.}$$

Річний фонд заробітної плати допоміжних працівників складає:

$$62496 + 31248 + 9374,4 = 103118,4 \text{ грн.}$$

Розрахунок фондів заробітної плати керівників і фахівців приведена в таб. 5.9

Таблиця 5.9 - Розрахунок фондів заробітної плати ІТР

Посада	Чисельність, чол	Місячний оклад, грн	Сума міс. окладів, грн	Річний фонд, грн
Майстер	1	9600	9600	115200
Технолог	1	7600	7600	80400
Всього	2	-	17200	158400

Звідна відомість фонду заробітної плати усіх категорій працюючих, чисельність працівників і їх середня зарплата в таблиці 5.10.

Таблиця 5.10 – Звідна відомість оплати праці

Категорія персона- лу	Чисель- ність чол.	Фонд зарплати, грн.			Сер. міс. зарп. грн.	Відрахув. на соц. страх. 22%, грн
		Основні тарифіка- ції	Додаткові	Річний фонд		
Основні	3	197500	148125	345625	9600,7	76037,5
Допо- міжні	2	62496	40622,4	103118,4	4296,6	22686
Керівник ІТР	2			158400	8600	34848
Всього	7			378768,4	7500	113404,8



## 5.6. Розрахунок собівартості зварювальних робіт

Собівартість продукції річного випуску визначається усіма витратами ділянки протягом року по наступних статтях прямих і непрямих витрат.

А. Прямі витрати:

Стаття 1

Основні і допоміжні матеріали - 4404400 грн;

Стаття 2

Тарифна заробітна плата основних працівників – 197500 грн;

Стаття 3

Доплати, допоміжна зарплата, премії –148125 грн;

Стаття 4

Нарахування на соціальне страхування –76037,5 грн;

Стаття 5

Паливо і енергія на технологічні цілі

$$З_{\text{ен.}} = C \cdot W \cdot \text{шт.} \cdot N = 2,68 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 10000 = 26800 \text{ грн.}$$

Усі витрати по статтях(1 - 5) приведені в таблиці 5.11

Таблиця 5.11 – Прямі витрати

Найменування статті витрат	Сума, грн
1. Основні і допоміжні матеріали	4404400
2. Тарифна заробітна плата основних працівників	197500
3. Доплати, допоміжна зарплата, премії	148125
4. Нарахування на соціальне страхування	76037,5
5. Паливо і енергія на технологічні цілі	26800
Всього	4852862,5

Б. Непрямі витрати:

- витрати на зміст і експлуатацію устаткування;
- загальновиробничі витрати.

Непрямі витрати визначаються складанням річних витрат, оскільки ці статті є комплексними. Розрахунок проводиться наступним чином:

Витрати на утримання та експлуатацію устаткування.

#### Стаття 1

Витрати на силову електроенергію знаходимо по формулі:

$$Э_{сил.} = C \cdot F_{эф} \cdot W \cdot K_3 \cdot K_S, \quad (5.9)$$

де  $C = 2,68$  грн – вартість 1 кВт енергії;

$W$  – споживана потужність устаткування, кВт;

$F_{эф}$  – ефективний фонд роботи устаткування за рік, год;

$K_3 = 0,7$  – коефіцієнт завантаження устаткування за часом;

$K_S = 0,8$  – коефіцієнт попиту, який враховує витрату електроенергії в мережі.

$$Э_{сил.} = 2,68 \cdot 3680 \cdot 52 \cdot 0,7 \cdot 0,8 = 291295,85 \text{ грн}$$

#### Стаття 2.

Тарифна заробітна плата, доплати, додаткова заробітна плата, премії допоміжних працівників, нарахування на заробітну плату.

- тарифна заробітна плата = 62496 грн;
- доплати та премії 40622,4 грн;
- нарахування на соціальне страхування 15554,5 грн;

#### Стаття 3.

Поточний ремонт устаткування і дорогих інструментів – 5% від балансової вартості.

$$341110 \cdot 0,05 + 10233,3 \cdot 0,05 = 17055,5 + 511,7 = 17567,2 \text{ грн}$$

Стаття 4.

Загальні амортизаційні відрахування - 29139,8

Стаття 5.

Відрахування на відшкодування зносу малоцінних і швидкозношуваних інструментів. Приймається у розмірі 50% від балансової вартості (вартість – 2% від вартості устаткування), і складає:

$$(341110 \cdot 0,02) \cdot 0,5 = 3441,1 \text{ грн}$$

Стаття 6.

Інші витрати розраховуються у розмірі 5% від суми витрат по статтях (1 - 5) і складають:

$$0,05 \cdot (235862,68 + 118672,9 + 17567,2 + 4692 + 3441,1) = 19011,8 \text{ грн}$$

Усі витрати по статтях(1 - 6) приведені в таблиці 5.12

Таблиця 5.12 – Непрямі витрати

Найменування статті витрат	Сума, грн
1. Утримання устаткування і робочих місць	291295,85
2. Зарплата, додаткова зарплата, доплати, премії допоміжних працівників і нарахування на соціальне страхування	380 235,88
3. Поточний ремонт устаткування і дорогих інструментів	17567,2
4. Амортизація устаткування і інструментів	4692
5. Відшкодування зносу малоцінних і швидкозношувальних інструментів	3441,1
6. Інші витрати	19011,8
Всього	716243,83

В. Загальновиробничі витрати - це витрати на управління в межах цеху, ділянки.

Стаття являється комплексною і охоплює такі витрати

### Стаття 1

Зміст цехового персоналу:

Річний фонд заробітної плати ІТР = 158400 грн;

Нарахування на заробітну плату ІТР = 43448 грн;

Всього по статті 1 :

$$158400 + 43448 = 201848 \text{ грн.}$$

### Стаття 2

Зміст приміщень і інвентаря. У цій статті розраховуються витрати на електроенергію для освітлення, воду на побутові потреби, пару для опалювання, допоміжні матеріали.

Витрати на електроенергію для освітлення розраховуються по формулі:

$$E_{oc} = \frac{C \cdot q \cdot S \cdot F_{oc}}{1000}, \quad (5.10)$$

де  $q$  – норма використання електроенергії за 1 год на 1 м<sup>2</sup> площі  
( $q = 20$  Вт);

$C = 2,68$  грн - вартість 1 кВт електроенергії;

$S$  – площа ділянки, м<sup>2</sup>;

$F_{oc} = 2100$  год – період використання освітлення;

$$E_{oc} = \frac{2,68 \cdot 20 \cdot 36 \cdot 2100}{1000} = 40521 \text{ грн.}$$

Витрати на воду для побутових потреб:

а) на господарсько-питні – 30 л/чол на добу

За годину кількість, що витрачається:  $30/24 = 1,46$ ;

За рік на 7 робочих:  $1,46 \cdot 7 \cdot 1860 = 19000$  л;

б) на душ – 40 л на працюючого в зміну.

Витрата води на душ за рік буде рівна:  $40 \cdot 220 \cdot 7 = 61600$  л;

в) на умивання - 5 л на одного працюючого.

За рік на 7 робітників :  $5 \cdot 7 \cdot 220 = 7700$  л;

Всього споживається 88300 л в рік.

Вартість питної води за 1000 л = 10 грн/м<sup>3</sup>;

Витрати на воду будуть рівні:  $88,3 \cdot 10 = 883$  грн;

Витрати на пару для опалювання розраховується по формулі:

$$Q_{II} = \frac{d_T \cdot H \cdot V \cdot C_T}{540 \cdot 1000}, \quad (5.11)$$

де  $d_T = 20$  ккал/год – витрата тепла на 1 м<sup>3</sup> будівлі;

$C_T = 300$  грн/т – вартість енергоносія за тонну;

$H = 4320$  год – кількість годин в опалювальний період;

$V = 1296$  м<sup>3</sup> - об'єм будівлі.

$$Q_{II} = \frac{20 \cdot 4320 \cdot 1296 \cdot 300}{540 \cdot 1000} = 62208 \text{ грн}$$

Витрати на допоміжні матеріали визначаються у розмірі 3% від балансової вартості приміщення і відповідно дорівнює 6480 грн

Загальні витрати по статті 2 складають:

$$3281 + 883 + 62208 + 6480 = 72852 \text{ грн}$$

### Стаття 3.

Поточний ремонт приміщень і інвентаря. Витрати приймаються у розмірі 2% від балансової вартості приміщень і інвентаря, що складають

$$4320 + 116,9 = 4436,9 \text{ грн}$$

Стаття 4.

Амортизація приміщень і інвентаря :

- амортизація приміщень = 4800 грн;

- амортизація інвентаря = 1163,8 грн;

Всього:  $4800 + 1163,8 = 5963,8$  грн

Стаття 5.

Витрати на досліді, дослідження, раціоналізацію, винаходи приймаються у розмірі 200 грн на одного працюючого, і відповідно дорівнює:

$$200 \cdot 7 = 1400 \text{ грн}$$

Стаття 6.

Витрати на охорону праці на рік складають 200 грн на одного працюючого і дорівнюють  $200 \cdot 7 = 1400$  грн

Стаття 7.

Інші витрати приймаються у розмірі 3% від суми витрат по статтях 1 - 6 складають:

$$0,03 \cdot (201848 + 72852 + 4436,9 + 6749,9 + 1400 + 1400) = 8660,6 \text{ грн}$$

Всі дані за розрахунком загальноновиробничих витрат зведені в таблиці 5.13

Таблиця 5.13 – Кошторис загальновиробничих витрат.

Стаття	Найменування статей витрат	Значення, грн
1.	Утримання цехового персоналу	201848
2.	Утримання приміщень і інвентаря	72852
3.	Поточний ремонт приміщень і інвентаря	4436,9
4.	Амортизація приміщень і інвентаря	5963,8
5.	Витрати на проведення дослідів, досліджень	1400
6.	Витрати на охорону праці	1400
7.	Інші витрати	8660,6
Всього		296587,9

Загальновиробничі витрати на собівартість окремих виробів розподіляються пропорційно тарифній заробітній платі основних працівників

$$\% ОПР = \frac{\sum Ц_{ЗАТР}}{\sum З_{ТАР}} \cdot 100\% , \quad (5.12)$$

де:  $\sum Ц_{ЗАТР} = 296587,9$  грн сума загальновиробничих витрат по кошторису (див. табл. 7.13);

$\sum З_{ТАР}$  - тарифний фонд заробітної плати основних працівників

$$\sum З_{ТАР} = 378768,4 \text{ грн}$$

$$\% ОПР = \frac{296587,9}{378768,4} \cdot 100\% = 74,91 = 75 \%$$

Розмір загальновиробничих витрат, які доводяться на одиницю виробу розраховується по формулі:

$$ОПР_{ЗАТР}^{ИЗД} = \frac{\% ОПР}{100} \cdot \sum_i^B Pi, \quad (5.13)$$

де:  $\sum_i^b Pi = 22,18$  грн

$$ОПР_{ЗАТР}^{ИЗД} = \frac{50}{100} \cdot 22,18 = 16,64 \text{ грн.}$$

Витрати електроенергії на технологічні цілі:

$$E = 2,5 \text{ кВт/ч} \cdot 0,265 \cdot 35000 = 23187,5 \text{ кВт};$$

$$E_T = 23187,5 \cdot 2,68 = 62142,5 \text{ грн}$$

Г. 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 500% від основної заробітної плати основних виробничих робітників:

$$5 \cdot 197500 = 987500 \text{ грн}$$

Калькуляція собівартості відновлювальних робіт приведена у таблиці 5.14.



Таблиця 5.14 – Калькуляція собівартості відновлювальних робіт

№	Найменування статей витрат	Витрати, грн		
		на програму	на одиницю, за новою технологією	на одиницю, за старою технологією
1	Допоміжні і основні матеріали	4404400	440,44	1469,13
2	Тарифна заробітна плата основних працівників	197500	19,75	15,23
3	Доплати, додаткова заробітна плата, премії основних працівників	148125	18,81	14,42
4	Нарахування на заробітну плату	76037,5	7,6	6,14
5	Витрати на утримання і експлуатацію устаткування	341110	34,11	28,56
6	Загальновиробничі витрати	296587,9	29,66	28,18
7	Електроенергія на технологічні цілі	62142,5	6,22	10,54
Всього загальновиробнича собівартість		5525902,9	552,59	1072,2

Відносні показники рахуємо по таких формулах:

Фондовіддача:

$$\Phi_{\text{отд}} = \frac{C_n - C_{\text{м.п.}}}{\Phi_{\text{осн.}}} \quad (5.14)$$

де  $C_n$  - повна собівартість продукції за рік;

$C_{\text{м.п.}}$  - вартість напівфабрикатів і матеріалів

$\Phi_{\text{осн.}}$  - вартість основних фондів.

$$\Phi_{\text{отд}} = \frac{5525902,9 - 4404400}{415214,5} = 2,1$$

Продуктивність роботи одного працівника:

$$\Theta = \frac{C_n - C_{\text{м.п.}}}{\sum K} \quad (5.15)$$

де  $\sum K$  - кількість робітників.

$$\Theta = 869807,28 / 7 = 124258,18 \text{ грн/чол.}$$

Фондомісткість:

$$\Phi_{\text{ем}} = \frac{\Phi_{\text{осн.}}}{C_n - C_{\text{м.п.}}} \quad (5.16)$$

$$\Phi_{\text{ем}} = \frac{415214,5}{869807,28} = 0,47 \text{ грн.}$$

Визначення економічного ефекту від впровадження нової технології відновлення робочої лопатки ТСТ.

Критерієм економічної ефективності рішень, що приймаються, є приведені витрати. Економічно-ефективним виступає той варіант, по якому приведені витрати будуть найменшими.

Розрахунок економічного ефекту для устаткування довготривалого використання робиться по формулі:

$$Z_1 = C_1 + \mathcal{E}_H \cdot K_{1 \text{ ПИТ}} \quad (5.17)$$

де:  $C_1$  – собівартість одиниці продукції по базовому варіанту, грн.;

$Z_2$  – приведені витрати одиниці продукції по новому варіанту, грн.;

$$Z_2 = C_2 + \mathcal{E}_H \cdot K_{2 \text{ ПИТ}} \quad (5.18)$$

де:  $C_2$  – собівартість одиниці продукції по новому варіанту, грн.;

$K_{1,2 \text{ ПИТ}}$  – питомі капітальні вкладення, грн.;

$$Z_2 = 552,17 + 0,15 \cdot \frac{415214,5}{10000} = 558,59 \text{ грн}$$

$$Z_1 = 1072,2 + 0,15 \cdot \frac{4152145}{10000} = 1078,43 \text{ грн}$$

$$\mathcal{E} = [1078,43 - 558,59] \cdot 10000 = 5198400 \text{ грн}$$

Усі показники ефективності і результативності від впровадження нової технології ремонту бандажної полки робочої лопатки турбіни середнього тиску наведено у звітній таблиці 5.15.

Таблиця 5.15 - Показники ефективності й результативності

Найменування показників	Значення показника
1. Річний випуск виробів:	
- у натуральнім вираженні, одиниць	10000
- по трудомісткості, н-год.	3500
- у грошовім вираженні, тис. грн..	5525,9
2. Виробнича площа ділянки, м <sup>2</sup>	84
3. Амортизаційні відрахування, тис. грн.	29,14
4. Облікова чисельність, чол.	
- усього	7
- основних робітників	3
- допоміжних робітників	2
- керівники й фахівці	2
5. Фонд сплати праці, грн	378768,4
6. Середня заробітна плата на місяць, грн.	7500
7. Продуктивність праці одного працюючого, грн./чол.	124258,18
8. Фондовіддача	2,1
9. Коефіцієнт завантаження устаткування	0,08
10. Фондомісткість	0,47
11. Собівартість одиниці продукції, грн.	558,59
12. Економічний ефект за розрахунковий рік, грн.	5198400

Економічний ефект від впровадження нової технології відновлення робочої лопатки ГСТ склав 5198400 грн.

Для зниження собівартості продукції потрібно:

1) підвищувати технічний рівень виробництва: застосовуючи нову техніку і технології, механізацію і автоматизацію виробничих процесів, удосконалювати техніку і технології, які використовуються на виробництві;

2) покращувати організацію виробництва і праці: розвиваючи спеціалізацію виробництва, покращувати матеріально-технічне постачання і використання матеріальних ресурсів, скорочувати транспортні затрати;

3) змінювати об'єм і структуру продукції: відносно зменшення умовно-постійних затрат і амортизаційних відрахувань в результаті росту об'єму виробництва, зміна структури продукції, підвищення її якості.

Для зниження собівартості зварювальних робіт потрібно:

1) підвищувати технічний рівень виробництва: застосовуючи нову техніку і технології, механізацію і автоматизацію виробничих процесів, удосконалювати техніку і технології, які використовуються на виробництві;

2) покращувати організацію виробництва і праці: розвиваючи спеціалізацію виробництва, покращувати матеріально-технічне постачання і використання матеріальних ресурсів, скорочувати транспортні затрати;

3) змінювати об'єм і структуру продукції: відносно зменшення умовно-постійних затрат і амортизаційних відрахувань в результаті росту об'єму виробництва, зміна структури продукції, підвищення її якості.

## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У розділі надані основні заходи з охорони праці при розробці технології ремонту плазмовим наплавленням робочої лопатки ТСТ.

### 6.1 Аналіз потенційних небезпек:

а) Небезпеки що пов'язані з незадовільною професійною підготовкою робітників, зокрема виконання хибних дій на виробництві, які можуть привести до порушення технологічного процесу, і як наслідок до випадків травматизму та аварійних ситуацій;

б) Можливість ураженням електричним струмом через відсутність заземлення, що може призвести до електричних травм або летального наслідку.

в) Недоліки в організації робочих місць дослідників при виконанні плазмового наплавлення, зокрема невиконання вимог ергономіки, відсутність засобів індивідуального і групового захисту від негативного впливу шкідливих і небезпечних чинників, що може призвести до нещасних випадків або професійних захворювань.

г) Відсутність індивідуальних засобів захисту від підвищеного рівня шуму, інтенсивного УФ випромінювання від дуги, наявність аерозолів шкідливих речовин, що може призвести до зниження працездатності та ушкодження органів людини.

г) Небезпеки, які пов'язані з використанням судин для зберігання робочих газів під тиском, зокрема:

- при порушенні правил безпеки при зберіганні, транспортуванні і експлуатації цих судин, що може призвести до великомасштабних руйнувань в приміщеннях, тяжких травм або летальних наслідків;
- втрата герметичності по з'єднанням по редуктору, вентилю, трубопроводу, що може призвести до отруень, при використанні інертних газів, або загорань, при використанні горючих газів.

д) Небезпеки, які пов'язані з оцінюванням ефективності технології наплавлення, тобто небезпеки, які пов'язані з використанням світлового або електронного дослідження структури, зокрема ураження органів зору при порушенні правил при роботі з МИМ8 або ушкоджень організму іонізуючим випромінюванням при дослідженні мікроструктури на електронному мікроскопі Tesla.

е) Небезпеки, які пов'язані з обробкою результатів досліджень з використанням ПК зокрема ушкодження кістково-м'язового апарату внаслідок довготривалої роботи в однотипній позі, що може призвести до зниження працездатності та розвитку професійних захворювань.

є) Незадовільні параметри мікроклімату приміщення дослідної лабораторії внаслідок неефективності роботи систем опалення і вентиляції.

ж) Недостатній рівень освітлення, що може бути пов'язано з неефективністю систем загального штучного освітлення, що може призвести до порушень працездатності і професійних захворювань.

з) Небезпеки, які пов'язані з умовами праці у НС і зокрема організація навчання працюючого та непрацюючого населення діям у надзвичайних ситуаціях.

## 6.2 Заходи по забезпеченню безпеки

а) Для виключення негативних наслідків, які пов'язані з незадовільною професійною підготовкою фахівців, таких як травмування, виготовлення бракованої продукції, надання збитків майну підприємства, необхідно: під час проведення робіт з плазмово-порошкового наплавлення дотримуватися усіх встановлених правил з електро- та пожежної безпеки, чітко дотримуватися встановленого порядку виконання операцій та встановлених параметрів режиму, а також знати принцип дії плазмоутворюючого обладнання, що працює за високої напруги та задіює у своїх процесах небезпечний інертний газ – аргон.

б) Для попередження ураження електричним струмом необхідно здійснювати наступні заходи захисту:

Організаційні заходи: до виконання робіт допускаються особи віком не молодше 18 років, що пройшли навчання та перевірку знань з електробезпеки згідно ДНАОП 1.1.10 — 1.01 - 2000 «Правила безпечної експлуатації електроустановок — споживачів» та отримали допуск з електробезпеки відповідної групи. Для кожного електроспоживного обладнання повинні бути складені експлуатаційні схеми нормальної і аварійної роботи.

Технічні заходи: Всі не ізольовані струмопровідні елементи електрообладнання повинні бути надійно огорожені суцільними огороженнями, зняття або відкриття можливе тільки за допомогою спеціальних пристроїв.

Розташування струмоведучих частин на недоступній висоті. Висот розташування визначається значенням напруги: при напрузі до 1000 В — не менше 3,5 м, при напрузі більше 1000 В — не менше 6 м. Зварювальні проводи мають бути гнучкими з гнучкою та міцною ізоляцією. Принцип дії захисного заземлення полягає у зниженні до безпечних значень напруги дотику, яка обумовлена замиканням на корпус. Електрообладнання необхідно заземлювати у відповідності з ПУЕ - 2015 «Правила улаштування електроустановок».



При роботах, що пов'язані з можливістю ураження електричним струмом необхідно використовувати індивідуальні засоби захисту: сухі брезентові рукавиці, роба, взуття.

Використовувати на робочих місцях при зварюванні діелектричні килимки згідно ГОСТ 4997-75, ізолюючі підставки і інші електрозахисні засоби, що забезпечують електробезпеку. Для попередження працівників про можливість ураження електричним струмом на ділянках зварювання повинні бути вивішені попереджувальні написи, плакати та знаки безпеки.

Перед початком роботи перевіряються наявність і справність: огорожень і запобіжних пристроїв, струмоведучих частин електричної апаратури (пускарів, трансформаторів, кнопок і інших), заземлювальних пристроїв, захисних блокувань. При виявленні несправностей до роботи не приступати, про несправності повідомити своєму безпосередньому керівнику.

в) Наплавні роботи необхідно виконувати при дотриманні наступних вимог безпеки:

- місце виконання робіт, а також розташовані нижче місця повинні бути звільнені від горючих матеріалів у радіусі не менше 5 м, а від вибухонебезпечних матеріалів і установок - 10 м;
- зона проведення робіт має бути огорожена захисними екранами, задля збереження органів зору людини від шкідливого впливу ІЧ та УФ випромінювання;
- над робочою поверхнею має бути встановлена загальна витяжна система, задля збереження органів дихання людини від дії шкідливих речовин у вигляді аерозолів;
- спецодяг зварника має бути укомплектований усіма необхідними засобами індивідуального захисту.

г) Для попередження руйнування судин під тиском слід виконувати наступні вимоги ДНАОП 0.00-1.07-94 «Правила будови та безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском»:

- не допуск балонів без відповідного маркування або з нечітким маркуванням: на верхній сферичній частині горловини марковані: номер, ємність балону, робочий та випробувальний тиск, дата випробування та дата наступного випробування, наявність паперового сертифікату. Важливим є забарвлення балонів;
  - балони повинні зберігатися в спеціальних приміщеннях, які є легкоруйнуючимися. Допускаються зберігання балонів під навісом. Зберігання в одному приміщенні кисневих та ацетиленових балонів неприпустимо;
  - зберігання в вертикальному положенні на спеціальних пристроях з кріпленням хомутами;
  - переміщення балонів допускається тільки в спеціальних візках. При транспортуванні наявність запобіжного ковпака є обов'язковою;
  - експлуатація балонів потребує певного часу витримки в умовах ділянки для вирівнювання температури;
  - для з'єднання вентиля балона з технологічним обладнанням використовують гнучкі шланги. З'єднання виконуються омідненим гайковим ключем для уникнення іскроутворення. Особливу увагу слід приділяти усуненню жирових та масляних забруднень. Перед комутацією слід продути вентиль.
  - відстань від будь-якого джерела тепловипромінення  $>5$  м. Відкриття вентиля має бути плавним. Тиск на манометрі редуктора не має перевищувати технологічний. Протікання газу неприпустиме (перевірити пробою на омилуванням);
  - випрацьовувати повністю газ не можна (залишковий тиск має складати 1..2 атм). Для виключення надмірного підвищення тиску внаслідок надмірного нагріву балонів ( $40^{\circ}\text{C}$ ) необхідно передбачати охолодження.
- При зварюванні в середовищі захисних газів можна застосовувати тільки редуктори згідно ГОСТ 54791-2011 «Обладнання для газового зварювання,

різання та споріднених процесів» з справними манометрами.

При експлуатації редуктора можуть виникнути наступні несправності:

- самоплив — поступання газу при закритому вентилі, — такий редуктор має бути заміненим;
- замерзання редуктора — відігрівання відкритим полум'ям заборонено, лиш гарячою водою;
- спрацьовуваність різьби на штуцерній або відкидній гайці — потребує негайної заміни.

д) Для захисту від впливу ультрафіолетового опромінення передбачено використання щитків зі світлофільтрами ГОСТ 12.4.035-78 «ССБТ Щитки захисні для електросварщиків. Технические условия», захисних окулярів типу ГС-3, ГС-7, ГС-12 або встановлення світлофільтрів в камері наплавлення.

е) Для виключення термічних опіків передбачено використання індивідуальних захисних засобів, зокрема, рукавиці брезентові – ГОСТ 12.4.010-75 ССБТ «Средства индивидуальной защиты. Рукавицы специальные. Технические условия».

### 6.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

є) Для забезпечення оптимальних параметрів повітряного середовища на ділянці для зварювання передбачено влаштування загально обмінної механічної вентиляції згідно ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень», що забезпечує оптимальні параметри, які вказані в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 - Метеорологічні умови в приміщенні дільниці

Пора року	Температура, с°	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря,
Холодна	18-22	40-60	ОД-0,3
Тепла	20-23	40-60	0,1-0,4

Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони у виробничих приміщеннях приведені в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 - Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони у виробничих приміщеннях.

Молібден, мг/м <sup>3</sup>	Окис вуглецю, г/м <sup>3</sup>	Окис заліза, мг/м <sup>3</sup>	Хромовий ангідрид, мг/м <sup>3</sup>
2	20	4	0,01

Для зменшення концентрації шкідливих речовин на робочих місцях до гранично допустимих, застосовані місцеві витяжні панелі і фільтровитяжні агрегати, витяжні шафи та ін., згідно СНиП 2.04.05-91 «Строительные нормы. Отопление, вентиляция и кондиционирование».

ж) Згідно СНиП 11-4-79 «Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования» проектування природного і штучного освітлення здійснюється з урахуванням особливості технологій і габаритів ділянки. У виробничих одноповерхових приміщеннях з\* висотою 6 м природне освітлення - верхнє природне, штучне освітлення - система загального освітлення, при цьому світильники вбудовані в стелю.

Рівні освітлювання для зварювання деталей, встановлені відповідно до чинних нормативних документів і складають 300 лк, для забезпечення загального освітлення і для освітлення підсобних приміщень згідно СНиП 11-4-79 «Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования».

Для освітлення ділянки зварювання використовуємо люмінесцентні лампи, які, незважаючи на свої недоліки, мають ряд переваг :

- значна світловидатність (у 5-7 разів більше ламп розжарювання);
- великий термін служби (6000-14000 годин).

Освітленість проходів і частин приміщення, де роботи не проводяться, повина складати не менше 25% освітлення, що створюється світильниками загального освітлення на робочих місцях, але не менше 75 лк при застосуванні газорозрядних ламп і 30 лк при використанні ламп накалювання.

а) Вибір системи освітлення. За розряду зорової роботи вибираємо: загальне освітлення з освітленістю 300 лк. У темному кольорі фону і малому контрасті об'єкта з фоном.

б) Визначення рівня нормованої освітленості  $E_n = 300$  лк.

в) Джерелом світла вибираємо люмінесцентні лампи.

г) Вибір типу світильників - РСП,  $IP = 23$ ,  $\beta / \beta = 1,6$ .

д) Оцінка коефіцієнта запасу і коефіцієнта нерівномірності освітлення:  $k_3 = 2,0$ ;  $k_2 = 1,15$  - для люмінесцентних ламп низького тиску.

е) Чисельне значення індексу приміщення визначають за рівнянням:

$$i = \frac{A \cdot B}{h(A + B)} = \frac{4 \cdot 9}{7,5 \cdot (4 + 9)} = 0,37$$

де  $A$  - довжина приміщення, м;

$B$  - ширина приміщення, м;

$h$  - висота розміщення світильників над робочою поверхнею, м:

$$h = H - h_p - h_3 = 10 - 0,6 - 1,9 = 7,5 \text{ м}$$

де  $H$  — висота виробничого приміщення, м;

$h_p$  — висота робочої поверхні над підлогою, м;

$h_3$  — висота звису світильника від стелі, м.

Якщо не задані, то розрахунок проводити за формулами: розрахунок кількості рядів світильників в приміщенні:

$$N_p = \frac{B}{(H - h_p) \cdot (L \div h)} = \frac{9}{(10 - 0,6) \cdot 1,6} = 0,6 \approx 1,$$

де ( $h, h_p$ ) — числове значення коефіцієнта світильника.

Розрахувати висоту підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$i = \frac{L_{\max}}{L \div h} = \frac{12}{1,6} = 7,5 \text{ м}$$

Знайти висоту схилу світильника від стелі:

$$h_3 = H - h_p - h = 10 - 0,6 - 7,5 = 1,9 \text{ м}$$

Значення коефіцієнта використання світлового потоку лампи і загальної кількості світильників:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_H \cdot S \cdot k_3 \cdot z}{\eta} = \frac{300 \cdot 114 \cdot 2,0 \cdot 1,15}{0,46} = 171000 \text{ лм},$$

де  $S$  — площа освітлювальної поверхні,  $\text{м}^2$ .

Визначити максимальну відстань  $L_{\max}$  між рядами і сусідніми світильниками в ряду :

$$L_{\max} = [L \div h] \cdot h = 1,6 \cdot 7,5 = 12 \text{ м}$$

Визначити кількість рядків світильників в приміщенні:

$$N_p = \frac{B}{L_{\max}} = \frac{6,5}{12} = 1.$$

Визначити умовну загальну кількість світильників в приміщенні, виходячи з позиції розташування їх у вершинах квадрата:

$$N^* = \frac{A \cdot B}{L_{\max}^2} = 0,78 \text{ шт.}$$

Розрахувати світловий потік умовного джерела світла:

$$\Phi_{Л}^* = \frac{\Phi_{\Sigma}}{N_{Л}} = \frac{171000}{0,78} = 219230 \text{ лм,}$$

де  $N_{Л}$  – загальна кількість ламп в приміщенні, шт:

$$N_{Л} = N^* \cdot n = 0,78 \cdot 1 = 0,78 \text{ шт,}$$

де  $n$  – кількість ламп у світильнику.

Визначити коефіцієнт  $m$  – співвідношення між розрахунком світловим потоком  $\Phi_{Л}^*$  та фактичним світловим потоком обраної стандартної лампи  $\Phi_{Л}$ :

$$m = \frac{\Phi_{Л}^*}{\Phi_{Л}} = \frac{219230}{109000} = 2,01.$$

Визначити оптимальну кількість світильників в приміщенні:

$$N = N^* \cdot m = 0,78 \cdot 2,01 = 1,57 \approx 2 \text{ шт.},$$

Визначити загальну розрахункову освітленість  $E_p$  в приміщенні, що створюється при застосуванні стандартних ламп:

$$E_p = \frac{\Phi_l \cdot N \cdot \mu}{S \cdot k_3 \cdot z} = \frac{109000 \cdot 2 \cdot 0,46}{114,2 \cdot 2 \cdot 1,15} = 358,5 \text{ лк.}$$

При правильному виборі типу і кількості стандартних ламп має виконуватись умова:

$$E_p = (-10\% \dots + 20\%) \cdot E_{н, лк};$$

$$358,5 \text{ лк} = 270 \dots 360 \text{ лк.}$$

Умова виконується.

Визначаємо загальну потужність освітлювальної установки

$$P_{\Sigma} = N_l \cdot P_l = 2 \cdot 1000 = 2 \text{ кВт}$$

## 6.4 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях

### 6.4.1. Заходи з пожежної безпеки

Для виключення можливості загорянь, внаслідок порушення правил пожежної безпеки, необхідно проводити інструктаж і перевірку знань правил пожежної безпеки, відповідно до НПАОП 28.52-1.15-60 «Правила з техніки



безпеки і виробничої санітарії при електрозварювальних роботах», НАПБ А.01.001- 2004 «Правила пожежної безпеки України» і НПАОП 0.00-4.12-05« Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці».

Ділянка складання і зварювання, згідно НАПББ 03.002 - 2007 «Норми визначення категорій приміщень, будівель і зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» відноситься до категорії «Г Згідно ДБН В. 1.1.7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва», визначається, як «С».

Площа ділянки складає 78 м<sup>2</sup>. Виходячи з цього, згідно НАПБ.03.001-2004 «типові норми причетності вогнегасників» вибирається три порошкових вогнегасника ємністю 8 літрів.

На ділянці розташований пожежний щит. До складу щита входить:

- вогнегасник - 3 шт.;
- ящик з піском - 1 шт.;
- покривало розміром 2х2-1 шт.;
- гаки - 3 шт.;
- лопати - 2 шт.;
- лом - 2 шт.;
- сокира - 2 шт.

Горінням називають складним фізико-хімічний процес взаємодії горючої речовини та окислювача, який супроводжується виділенням тепла та випромінюванням світла.

Пожежа – неконтрольоване горіння поза спеціальним вогнищем, що розповсюджується в часі і просторі.

Залежно від агрегатного стану й особливих можливостей горіння різних горючих речовин й матеріалів пожежі за ДБМВ 1.1.7 – 2002 пожежна безпека об'єктів будівництва, поділяються:

- 1) Клас А – пожежі твердих речовин, горіння яких супроводжується тлінням.

- $A_1$  — горіння, яке супроводжується тлінням;
  - $A_2$  — яке не супроводжується тлінням;
- 2) Клас В — горіння рідких речовин
- $V_1$  — які розчинні у воді;
  - $V_2$  — нерозчинні у воді;
- 3) Клас С — горіння газоподібних речовин (побутовий газ, водень, пропан);
- 4) Клас D — горіння металів
- $D_1$  — легкі метали;
  - $D_2$  — лужні і лужноземельні метали;
  - $D_3$  — металомісткі сполуки;
- 5) Клас Е — горіння електроустановок, що перебувають під напругою ел. струму.

Проте, нещодавно в Україні введено в дію ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж», відповідно до якого поняття підкласів пожеж ( $A_1...D_3$ ) уже не застосовується, з переліку також виключено клас Е (горіння електроустановок, що перебувають під напругою ел. струму.), а натомість введено клас F — горіння речовин, які використовують для приготування їжі (рослинних і тваринних олій та жирів) та які містяться в кухонних приладах.

Пожежовибухонебезпека речовин та матеріалів — це сукупність властивостей, які характеризують їх схильність до виникнення й поширення горіння, особливості горіння і здатність піддаватись гасінню загорянь. За цими показниками виділяють три групи горючості матеріалів і речовин: негорючі, важкогорючі та горючі.

Негорючі (неспалимі) — речовини та матеріали, нездатні до горіння чи обвуглювання у повітрі під впливом вогню або високої температури. Це матеріали мінерального походження та виготовлені на їх основі матеріали — червона цегла, силікатна цегла, бетон, камінь, азбест, мінеральна вата, азбестовий цемент та інші матеріали, а також більшість металів. При цьому

негорючі речовини можуть бути пожежонебезпечними, наприклад, речовини, що виділяють горючі продукти при взаємодії з водою.

Важкогорючі (важко спалимі) — речовини та матеріали, що здатні спалахувати, тліти чи обвуглюватись у повітрі від джерела запалювання, але нездатні самостійно горіти чи обвуглюватись після його видалення (матеріали, що містять спалимі та неспалимі компоненти, наприклад, деревина при глибокому просочуванні антипіренами, фіброліт і т. ін.);

Горючі (спалимі) - речовини та матеріали, що здатні самозайматися, а також спалахувати, тліти чи обвуглюватися від джерела запалювання та самостійно горіти після його видалення. У свою чергу, у групі горючих речовин та матеріалів виділяють легкозаймісті речовини та матеріали — це речовини та матеріали, що здатні займатися від короткочасної (до 30 с) дії джерела запалювання низької енергії.

Локалізація - це стадія пожежогасіння, на якій обмежено розповсюдження полум'я та створено умови для її повної ліквідації (створено достатній запас паливно-мастильних матеріалів, вогнегасних речовин, людських ресурсів тощо). Локалізація й гасіння пожеж проводяться задля збереження матеріальних цінностей держави й окремих громадян, тварин та організацій протипожежними формуваннями ЗС, ЦО, Міністерства внутрішніх справ, Міністерства з надзвичайних ситуацій, Міністерства охорони навколишнього середовища із залученням до цих робіт працівників, службовців і населення, що проживає поблизу осередку надзвичайної ситуації.

Для локалізації пожежі, створюються протипожежні смуги одночасно на кількох ділянках шириною 6-8 м. При наявності часу протипожежні смуги поширюються до 20-40 м перед фронтом і до 8-10 м на флангах і в тилу пожежі. Для гасіння пожежі можуть бути застосовані вибухові речовини.

Пожежна безпека — стан захищеності людини і матеріальних цінностей від пожеж. Забезпечення пожежної безпеки є невід'ємною частиною діяльності держави щодо охорони життя і здоров'я людей, тварин, національного багатства та навколишнього природного середовища. В Україні загальні правові,

соціальні та економічні основи забезпечення пожежної безпеки, відносини державних органів, юридичних і фізичних осіб у цій галузі незалежно від виду їх діяльності та форм власності, регулюються Кодексом цивільного захисту України.

Задля підвищення пожежної безпеки і недопущення нещасних випадків, в Україні для всіх підприємств діє норма по отриманню протипожежної декларації, яка є одним з основних документів, що дозволяють здійснювати підприємницьку діяльність.

Протипожежна профілактика - це комплекс організаційних і технічних заходів, які спрямовано на підтримання безпеки людей, на попередження пожеж, локалізацію їх поширення, а також створення умов для успішного гасіння пожежі.

В основі класифікації лежать порівняльні дані, що визначають ймовірність виникнення пожежі або вибуху залежно від властивостей і стану речовин, що задіяні у виробничому процесі.

Категорія за вибухопожежною та пожежною небезпекою будівель або приміщень - це класифікаційна характеристика небезпеки об'єкта, що визначається кількістю і пожежонебезпечними властивостями речовин і матеріалів, які знаходяться, або обертаються там, з урахуванням особливостей технологічних виробничих процесів.

За вибухопожежною і пожежною небезпекою приміщення й будівлі поділяються на 5 категорій: А, Б, В, Г, Д (табл. 6.3).

Таблиця 6.3 – Опис категорій приміщень і будівель за вибухопожежною і пожежною небезпекою

Категорія	Опис
А	Будівлі належать до категорії А, якщо в них задіяні горючі гази, легкозаймисті речовини з температурою спалахування до 28°C, а також такі, що здатні до вибуху і горіння при взаємодії з водою, киснем повітря або один з одним в таких кількостях, що можуть утворювати вибухонебезпечні парогазоповітряні суміші, при займанні яких розвивається тиск вибуху в приміщенні, що перевищує 5кПа. Сюди відносяться склади балонів з стисненим горючим газом, бензосклади, ацетиленові станції, малярні цехи та ін.
Б	Будівлі належать до категорії Б, якщо в них знаходяться горючий пи́л або волокна, легкозаймисті речовини з температурою спалаху понад 28°C, горючі рідини у такій кількості, що можуть утворювати вибухонебезпечні пилоповітряні або пароповітряні суміші при займанні яких, виникає розрахунковий тиск вибуху, що перевищує 5 кПа. Сюди належать насоси станцій, малярні цехи, де є рідини з температурою спалаху від 28°C до 120°C (газ, нафта, скипидар, смола та ін.).
В	Приміщення, будівлі належать до категорії В, якщо в них є горючі гази, горючі і важкогорючі рідини, тверді горючі речовини та матеріали, здатні тільки горіти при взаємодії з водою, киснем повітря або між собою, за умови, що вони не належать до категорії А і Б. Сюди належать паливно-мастильні склади, автогаражі, лісопильні, деревообробні, смолопереробні заводи, склади горючих матеріалів і т.ін.

Продовження таблиці 6.3

Г	Приміщення і будівлі належать до категорії Г, якщо в них знаходяться негорючі речовини і матеріали в гарячому, розжареному та розплавленому стані з виділенням променистого тепла, іскор, полум'я, а також горючі гази, рідини та тверді речовини, які спалюються або утилізуються як паливо (газогенераторні станції, котельні, ливарні, термічні цехи, автомобільні гаражі, депо і ін.).
Д	Будівлі належать до категорії Д, якщо в них знаходяться негорючі матеріали у холодному стані. Сюди належать всі будівлі, якщо їх не віднесено до категорії А, Б, В, Г (механоскладальні заводи, цехи холодної обробки металу, компресорні станції, склади металу і т.ін.).

Будівлі категорії А і Б є вибухопожежонебезпечними, а категорії В, Г, Д тільки пожежонебезпечними.

#### 6.4.2. Навчання населення діям в умовах надзвичайних ситуацій

Навчання населення діям в умовах надзвичайних ситуацій проводиться.

- працююче населення - за місцем роботи;
- діти дошкільного віку - за місцем виховання;
- учні та студенти - за місцем навчання;
- непрацююче населення - за місцем проживання.

Організація навчання діям в умовах надзвичайних ситуацій покладається:

а) Працюючого і непрацюючого населення - на центральний орган виконавчої влади, що забезпечує формування та реалізацію державної політики у сфері цивільного захисту, а розробляють і затверджують організаційно-методичні вказівки та програми з підготовки населення до дій в умовах НС.

б) Місцеві державні адміністрації та органи місцевого самоврядування.

в) Дітей дошкільного віку, учнів та студентів - на центральний орган виконавчої влади, що забезпечує формування та реалізацію державної політики в сфері освіти і науки, який розробляє і затверджує навчальні програми з вивчення заходів безпеки, способів захисту від впливу небезпечних чинників, викликаних надзвичайними ситуаціями, надання долікарської допомоги, за погодженням з центральним органом виконавчої влади, що забезпечує формування та реалізацію державної політики у сфері цивільного захисту.

Стандартами професійно-технічної та вищої освіти передбачено отримання знань у сфері цивільного захисту. Порядок навчання населення діям в умовах надзвичайних ситуацій встановлюється Кабінетом Міністрів України. Громадські організації та позашкільні навчальні заклади проводять навчання діям в умовах надзвичайних ситуацій відповідно до своїх програм.

Навчання працюючого населення діям в умовах надзвичайних ситуацій є обов'язковим і проводиться в робочий час, за рахунок коштів роботодавця за програмами підготовки населення до дій в умовах надзвичайних ситуацій, а також на спеціальних об'єктових навчаннях і тренуваннях з питань цивільного захисту. Порядок організації та проведення спеціальних об'єктових навчань і тренувань з питань цивільного захисту визначається Державною службою України з надзвичайних ситуацій. Для отримання працівниками відомостей про порядок дій в умовах надзвичайних ситуацій, з урахуванням особливостей виробничої діяльності об'єкта, облаштовується інформаційно довідковий куток з питань цивільного захисту.

При прийнятті на роботу, а також щорічно, працівники проходять інструктаж з питань цивільного захисту, пожежної безпеки та діям в умовах надзвичайних ситуацій. Працівники, зайняті на роботах з підвищеною пожежною небезпекою, один раз на рік проходять перевірку знань нормативних актів з пожежної безпеки, а посадові особи, з метою допуску до виконання своїх обов'язків, а також періодично (один раз на три роки), проходять навчання

та перевірку знань з питань пожежної безпеки. Забороняється допускати до роботи осіб, які не пройшли навчання,

Інструктаж і перевірку знань з питань цивільного захисту, зокрема, з пожежної безпеки.

Непрацююче населення самостійно вивчає пам'ятки та інший інформаційно- довідковий матеріал з питань цивільного захисту, правила пожежної безпеки в побуті та громадських місцях, а також отримує через засоби масової інформації, від органів державної влади або органів місцевого самоврядування необхідні відомості про надзвичайні ситуації, в зоні яких можуть виявитися непрацюючі громадяни, а також про способи захисту від впливу небезпечних чинників.



## ВИСНОВКИ

У даній роботі було розглянуто базову технологію ремонту бандажної полки робочої лопатки турбіни середнього тиску двигуна ТД-500 способом ручного плазмово-порошкового наплавлення. Досліджено характер і механізми зношування та руйнування лопатки в результаті її експлуатаційних умов. Вивчено основні труднощі при відновленні лопаток, що обумовлені її хімічним складом.

Зважаючи на всі особливості базової технології ремонту бандажної полки робочої лопатки для поліпшення якості наплавних робіт та зменшення їх собівартості за рахунок мінімізації людського фактору і зменшення витрат дорогих матеріалів було розроблену нову технологію ремонту, в основу якої увійшла базова технологія, але з заміною ручної праці на роботизовану.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Газизуллин, Р. М. Комбинированное упрочнение металлических изделий Текст. / Р. М. Газизуллин // Металлообработка. — 2004. № 2. — С. 2 -5.
2. Аронов, Б. М. Автоматизация конструирования лопаток авиационных турбомашин Текст. / Б. М. Аронов. —М.: Машиностроение, 1978. — 168 с.
3. Михайлов, А. Н. Формирование поверхностного слоя хрупких материалов эластичным инструментом Текст. / А. Н. Михайлов [и др.] // Приложение. Справочник. Инженерный журнал. —2002. — № 9. С. 8 - 10.
4. Попенко, А. И. Аналитический метод определения параметров процесса динамического упрочнения ППД Текст. / А. И. Попенко [и др.] // Вестник двигателестроения. — 2005. № 1. - С. 89 - 97.
5. Рыковский, Б. П. Местное упрочнение деталей поверхностным наклепом Текст. / Б. П Рыковский, В. А Смирнов, Г. М. Щетинин [и др.]. — М.: Машиностроение, 1985.-152с.
6. Жеманюк П. Д., Клочихин В. В., Лысенко Н. А., Наумик В. В. Структура и свойства литых лопаток авиационных двигателей из жаропрочного никелевого сплава ЖС26-ВИ / П. Д. Жеманюк, В. В. Клочихин, Н. А. Лысенко, В. В. Наумик // Вестник двигателестроения. – 2015. - №1. с. 139-146.
7. Гецов Л.Б. Деталі газових турбін. - Л.: Машинобудування, 1982 - 300 с.
8. Коломицев П.Т. Жаростійкі дифузійні покриття. - М.: Металургія. 1979. - 272 с.
9. Ендзеліна М.А. та ін. Термічна обробка сплавів. / М.А. Ендзеліна та ін. // Енергомашинобудування - 1983. - N11. - С.16-18.
10. Lipold J. С., Kotecki D. J. Welding metallurgy and weldability of stainless steels. – Hoboken, New Jersey: Wiley-Interscience, 2005. – 358 p.
11. Ющенко К. А. и др. Сварка и наплавка жаростойких никелевых сплавов с монокристаллической структурой / К. А. Ющенко и др. // Автоматическая сварка. – 2008. - №11. – с. 217-223.

12. Овчинников В. В. Ручная дуговая сварка, наплавка, резка / В. В. Овчинников //Учебник. Академия. – 2017. – с. 208.

13. Биковський О. Г., Пінковський І. В. Довідник зварника / О. Г. Биковський, І. В. Пінковський. – К.: Техніка, - 2002. – 336 с.

14. ГОСТ 949-73 Баллоны стальные малого и среднего объема для газов на  $P_p=19,6$  МПа (200 кгс/см кв.). Технические условия.

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		14		Шайба 8		
				ГОСТ 6402-70	2	
		15		Шайба 7019-0392		
				ГОСТ 13439-68	1	
		16		Шайба 7019-012		
				ГОСТ 13439-68	1	
		17		Шпилька М6-6		
				ГОСТ 22035-76	1	
		18		Шпилька М8-6		
				ГОСТ 22035-76	1	
		19		Штифт 3т6х16		
				ГОСТ 3128-79	1	
		20		Штифт 3т6х30		
				ГОСТ 3128-79	1	
		21		Штифт 6т6х25		
				ГОСТ 3128-79	1	
		22		Гайка М8-6		
				ГОСТ 5915-70	2	

131.2023.1Ф-319.02.06

Изм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
Разраб.		Рижиков О.І.		
Пров.		Бриков М.М.		
Н.контр.		Попов С.М.		
Утв.		Нетрепко В.В.		

Приспосовання для  
наплавки  
робочої лопатки

Лист	Лист	Листов
	7	1

ЗП "Політехніка" каф. ОТЗВ  
зр. 1Ф-319

1. Назва проекту  
 2. Стор. проект  
 3. Стор. н.  
 4. 1 лист з 10  
 5. 1 лист з 10  
 6. 1 лист з 10  
 7. 1 лист з 10  
 8. 1 лист з 10  
 9. 1 лист з 10  
 10. 1 лист з 10  
 11. 1 лист з 10  
 12. 1 лист з 10  
 13. 1 лист з 10

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол	Примечание
				Документація		
A1			ГКІЮ 0454.19.006 СК	Сбиральне креслення		
				Сбиральні одиниці		
б/к		1		Стойка	1	
б/к		2		Основа	1	
б/к		3		Прижим	1	
б/к		4		Корпус	1	
б/к		5		Планка	1	
б/к		6		Прижим	1	
б/к		7		Опора шарова	1	
				Стандартні вироби		
		8		Болт М8-6		
				ГОСТ 7808-70	2	
		9		Винт М4-6		
				ГОСТ 1476-93	1	
		10		Винт М8-6		
				ГОСТ 11738-79	4	
		11		Пружина 30-58960012	1	
		12		Рукоятка 2-32		
				У54.7.99 049	1	
		13		Рукоятка 2-40		
				У54.7.99 049	1	

131.2023.ІФ-319.02.07

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Рижиков О. К.	<i>[Signature]</i>	
Пров.		Бриков ММ.	<i>[Signature]</i>	
Нконтр.		Попов СМ.	<i>[Signature]</i>	
Утв.		Нетрепко В.В.	<i>[Signature]</i>	

Приспосовання для  
наплавки бандажної  
полки робочої лопатки

Лит.	Лист	Листов
	7	1

ЗП "Політехніка" каф. ОТЗВ  
гр. ІФ-319