

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

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

Обладнання та технологія зварювального виробництва
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

магістр
(ступінь вищої освіти)

на тему «Удосконалення технології нанесення іонно-плазмових
жаростійних покриттів на лопатки турбін авіадвигунів з проєктуванням
дільниці»

Виконав: студент(ка) II курсу, групи ІФ-310м

Спеціальності 131 “Прикладна механіка”
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
«Технології та устаткування зварювання»

Фетісов Р.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник Нетребко В.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Єфанов В.С.

(прізвище та ініціали)

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

Інститут, факультет ФТІ, ІФ

Кафедра Обладнання та технології зварювального виробництва

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 131 Прикладна механіка

(код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація) Технології та устаткування зварювання
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

« 7 » грудня 2021 року

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

Фетісова Руслана Юрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Удосконалення технології нанесення іонно-плазмових жаростійних покриттів на лопатки турбін авіадвигунів з проєктуванням дільниці

керівник проєкту (роботи) Нетребко В.В.

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

Затверджені наказом закладу вищої освіти від «07» 12 2021 року № 499

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) _____

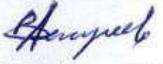
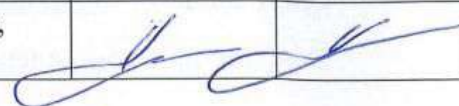
3. Вихідні дані до проєкту (роботи)

Робочі лопатки турбіни ТВД з дефектами покриття, катоди з поверхневими дефектами

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Підвищення якості виготовлення лопаток авіаційних турбін з жаростійким іонно-плазмовим покриттям; 2) Методи проведення дослідження ; 3) Вплив технології виготовлення катодів на їх структуру та стан поверхні ; 4) Техніко-економічна оцінка ефективності пропонованої технології ; 5) Охорона проці та безпека в надзвичайних ситуаціях;

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
ротор, робоча лопатка, установка напилення, катод виготовлений методом вакуумно-індукційної плавки, катод виготовлений методом гранульної металургії, методи виготовлення катодів, дослідження литого катоду; дослідження гранульного катоду; дослідження отриманий покриттів з використанням дослідних катодів; план дільниці, техніко-економічна ефективність

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-3	Нетребко В.В. д.т.н., проф., викладач каф. ОТЗВ		
4	/Круглікова В.В. к.е.н., доцент, викладач каф. ПТБД		
5	Нестеров О.В. к.т.н., доцент, завідувач каф. ОПІНС		

7. Дата видачі завдання « 06 » 09 2021 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Підвищення якості виготовлення лопаток авіаційних турбін з жаростійким іонно-плазмовим покриттям	02 – 12 вересня	виконав
2	Методики проведення дослідження	13 – 30 вересня	виконав
3	Вплив технології виготовлення катодів на їх структуру та стан поверхні	01 – 26 жовтня	виконав
4	Техніко-економічна оцінка ефективності пропонованої технології	27 жовтня – 19 листопада	виконав
5	Охорона проці та безпека в надзвичайних ситуаціях	20 листопада – 04 грудня	виконав
6	Виконання креслення	05 грудня – 12 грудня	виконав
7	Проектування ділянки нанесення	17 вересня- 13 грудня	виконав

Студент(ка)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка : 83 стор., 24 рис., 31 табл., 21 джерело, 4 додатків

ІОННО-ПЛАЗМОВЕ НАПИЛЕННЯ, ЖАРОСТІЙКЕ ПОКРИТТЯ,
КАТОД, МЕТАЛУРГІЯ ГРАНУЛ, РОБОЧА ЛОПАТКА, ШОРСТКІСТЬ

Мета дослідження - Підвищення якості жаростійкого іонно-плазмового покриття за рахунок використання катоду виготовленого методом металургії гранул.

Об'єкт дослідження — катод виготовлений металургією гранул та жаростійке покриття, що нанесене ним.

У роботі виконано аналіз впливу технології виготовлення катодів на якість жаростійкого покриття робочої лопатки турбіни авіаційного двигуна нанесене методом фізичного осадження металів в вакуумі. Запропоновано використовувати катод виготовлений методом металургії гранул, що зменшує кількість дефектів покриття, які утворюються під час нанесення, та як наслідок зменшення кількості робочих лопаток, які потрібно доопрацьовувати.

Розроблена маршрутна карта технологічного процесу. Спроектована діляниця нанесення жаростійкого покриття на робочу лопатку турбіни. Проведено техніко – економічне обґрунтування розробленої технології. Розроблені загальні заходи з техніки безпеки і охорони навколишнього середовища.

ABSTRACT

Explanatory note: 83 pages, 24 figures, 31 tables, 21 sources, 4 app

ION-PLASMA SPRAYING, HARD COATING, CATHODE, GRANULAR METALLURGY, WORKING SHOVEL, ROUGHNESS

The purpose of the study - Improving the quality of heat-resistant ion-plasma coating through the use of the cathode made by the method of metallurgy of granules.

The object of research is a cathode made of granular metallurgy and a heat-resistant coating applied by it.

The analysis of the influence of cathode manufacturing technology on the quality of heat - resistant coating of the turbine blade of an aircraft engine caused by the method of physical deposition of metals in vacuum is performed. It is proposed to use a cathode made by the method of granular metallurgy, which reduces the number of coating defects that are formed during application, and as a consequence of reducing the number of blades that need to be refined.

The route map of technological process is developed. The heat-resistant coating area on the turbine blade is designed. Feasibility study of the developed technology is carried out. General safety and environmental measures have been developed.

ЗМІСТ

Вступ.....	8
1 Підвищення якості виготовлення лопаток авіаційних турбін з жаростійким іонно-плазмовим покриттям.....	10
1.1 Аналіз якості нанесених покриттів на робочі лопатки турбіни.....	10
1.2. Аналіз діючого виробництва	14
1.3 Аналіз методів виготовлення катодів для іонно-плазмових покриттів.....	19
1.4 Висновки до розділу 1.....	22
2 Методики проведення дослідження	24
2.1 Обладнання для виготовлення дослідних катодів.....	24
2.2 Визначення хімічного складу та металографічні дослідження дослідних катодів.....	25
2.3 Контроль якості покриття.....	26
3 Вплив технології виготовлення катодів на їх структуру та стан поверхні	27
3.1 Дослідження катоду виготовленого методом вакуумно-індукційної виплавки.....	27
3.2 Дослідження катоду виготовленого методом гранульної металургії.....	30
3.3 Дослідження покриття, нанесеного з використанням катоду виготовленого методом вакуумно-індукційної виплавки.....	35
3.4 Дослідження покриття, нанесеного катодом металургії гранул.....	37
3.5 Висновки до розділу 3.....	40
4 Техніко-економічна оцінка ефективності пропонованої технології	42
5 Охорона проці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	53
5.1 Аналіз потенційних небезпек	53

5.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки.....	55
5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці.....	61
5.4 Заходи з пожежної безпеки.....	67
5.5 Заходи по забезпеченню безпеки в умовах надзвичайних ситуацій	68
Висновки.....	73
Перелік джерел посилань	75
Додаток А «Ротор твд»	78
Додаток Б «Установка АПН-250»	79
Додаток В «Дільниця»	80
Додаток Г «Маршрутна карта»	81

ВСТУП

Проблема забезпечення якості продукції на всіх етапах виробництва є актуальною та економічно обґрунтованою. Робочі лопаті ротора є головною складовою газової турбіни, що визначають експлуатаційну надійність та забезпечують економічність та інші показники роботи авіадвигунів.

Якщо на ранніх етапах розвитку авіаційних ГТД температура газів перед газовою турбіною становила від 600 °С до 800 °С, що за наявності дефектів покриття не дуже впливало на довговічність робочої лопатки турбіни в процесі експлуатації, то вже з подальшим розвитком авіаційних ГТД ця температура значно підвищилась на від 1200 °С до 1400 °С і вище, що з урахуванням наявності дефектів покриття дуже критично впливає на довговічність робочих лопаток та є неприпустимим в умовах авіадвигунобудування.

Використання сучасних жароміцних сплавів на нікелевій та нікель-кобальтової основі для робочих лопаток газової турбіни авіаційних ГТД без використання жаростійких покриттів — недостатньо, тому для теплонавантажених деталей газової турбіни використання жаростійких покриттів для захисту від хімічного руйнування поверхні під впливом газової корозії є головною вимогою.

Найбільш поширеною технологією нанесення жаростійких покриттів є фізичне осадження металів в вакуумі (PVD – physical vapor deposition) з використанням катодів, які випаровуються. Найефективнішими і найпоширенішими жаростійкими покриттями є покриття на основі нікелю, кобальту та алюмінію. Якість нанесеного покриття залежить від адгезії, його щільності, рівномірного розподілу хімічного складу та структури. Катод, що випаровується, повинен забезпечити формування покриття з необхідними властивостями, які значною мірою залежать від якості виготовлених катодів. У процесі експлуатації катодів низької якості існує ймовірність утворення неприпустимих дефектів покриття на поверхні лопаті, після чого необхідно

доопрацювання деталі.

Зменшення витрат на виробництво, а саме відсотку лопатей, що потребують доопрацювання (повторного нанесення покриття) є актуальною задачею та підвищує конкурентну здатність продукції.

1 ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ЛОПАТОК АВІАЦІЙНИХ ТУРБІН З ЖАРОСТІЙКИМ ІОННО-ПЛАЗМОВИМ ПОКРИТТЯМ

1.1 Аналіз якості нанесених покриттів на робочі лопатки турбіни

На виробництві АТ «Мотор Січ» для складання ротора ТВД авіаційного двигуна АИ-222 та його модиф. виготовляють робочі лопатки турбін, в яких однією з фінішних операцій є нанесення жаростійкого іонно-плазмового покриття. Зовнішній вигляд лопатки наведено на рисунку 1.1. Покриття типу Ni-Cr-Al-Y наноситься на нікелевий жароміцний сплав ЖС32-ВІ методом іонно-плазмового осадження на серійній установці АПН-250 з використанням серійного катоду, що випаровується, виготовленого методом вакуумно-індукційної плавки. Хімічний склад покриття та матеріалу лопатки наведено у таблиці 1.1 та таблиці 1.2.



Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд робочої лопатки турбіни з типовою розміткою на ділянки

Таблиця 1.1 – Хімічний склад жаростійкого покриття по даним підприємства, мас. %

Марка сплаву	Вміст хімічних елементів, мас. %			
	Ni	Al	Cr	Y
СДП-2	Осн.	11,0...14,0	18...24	0,4...1,0

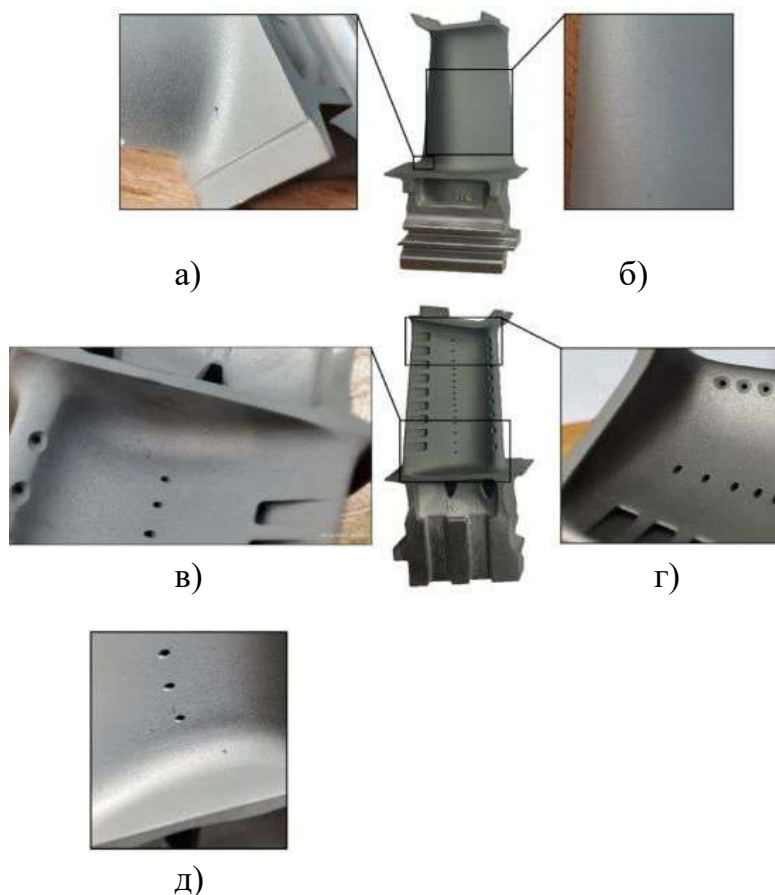
Таблиця 1.2 – Хімічний склад сплаву робочої лопатки, мас. % [1, 2]

Марка сплаву	C	Cr	Co	W	Mo	Ti	Al	Nb	V
ЖС-32	0,12...0,17	4,1...5,3	8,7...9,3	10,0...12,0	0,9...1,3	0,8...1,2	5,6...6,1	1,4...1,8	0,8 ... 1,2

До покриття повинно мати задовільну адгезію для забезпечення достатньої міцності зчеплення з поверхнею лопатки. Необхідну адгезію покриття забезпечує активування поверхні лопатки та дифузійна зона між покриттям та лопаткою після проведення дифузійного відпалу нанесеного покриття. Окрім адгезії, покриття повинно мати задовільну шорсткість поверхні робочої лопатки, що впливає на параметри авіаційного двигуна в цілому. Необхідну шорсткість поверхні забезпечує рівномірне випаровування та конденсації матеріалу процесі нанесення покриття, та зменшення кількості крапельної фази на поверхні покриття лопатки. Дефектами покриття, які не допускаються у зв'язку впливають на шорсткість поверхні лопатки, є одиничні (рис. 1.2, а) та групові (рис. 1.2, б) набризкування матеріалу, рихлоти поверхні (рис. 1.2, в) та дефекти типу «волосина» (рис. 1.2, г), наявність кратерів на поверхні покриття за рахунок випадання краплі випаровуємо матеріалу (рис. 1.2, д). На сьогоднішній день близько 20 % робочих лопаток від загальної кількості потребують доопрацювання через наявність дефектів жаростійкого покриття, які не допускаються, що утворюються під час напилення.

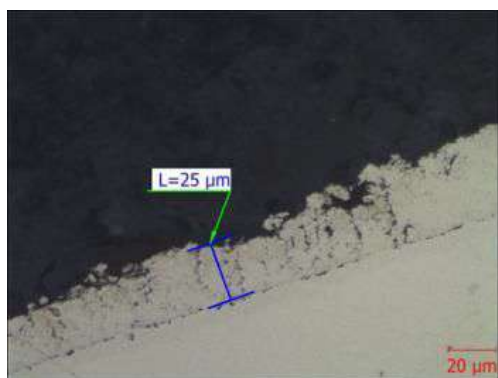
Виконаний мікроструктурний аналіз (рис.1.3) у місці виявлення дефектів покриття potwierджує, що причиною їх виникнення не може бути незадовільна

адгезія покриття з поверхнею лопатки у разі порушення технології підготовки лопаток під напилення. Необхідно проаналізувати локальність розташування дефектів покриття, для цього відносно форми лопаті зроблено типову розмітку на зони (див. рис. 1.4). Проведений аналіз (табл. 1.3) вказує на те, що дефекти мають хаотичне розташування щодо лопатки під час напилення, тим самим підтверджуючи те, що механічна частина установки (обертання лопаток) ніяк не впливає на масовий перенос матеріалу катоду, що випаровується, та ні як не може бути причиною виникнення дефектів покриття. Конкретної зони виникнення дефектів не визначено, тому необхідно вивчення та аналіз конструкції для нанесення покриття.

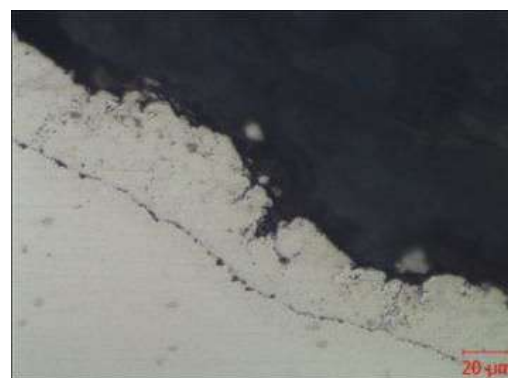


а – одиничні набризкування матеріалу; б – групові набризкування матеріалу;
в – рихлоти поверхні; г – дефект типу «волосина»; д – кратери на поверхні покриття.

Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд дефектів покриття робочої лопатки



а)



б)

а – перо лопатки; б – бандажна полка.

Рисунок 1.3 – Мікроструктурний стан жаростійкого покриття в місцях виявлення дефектів

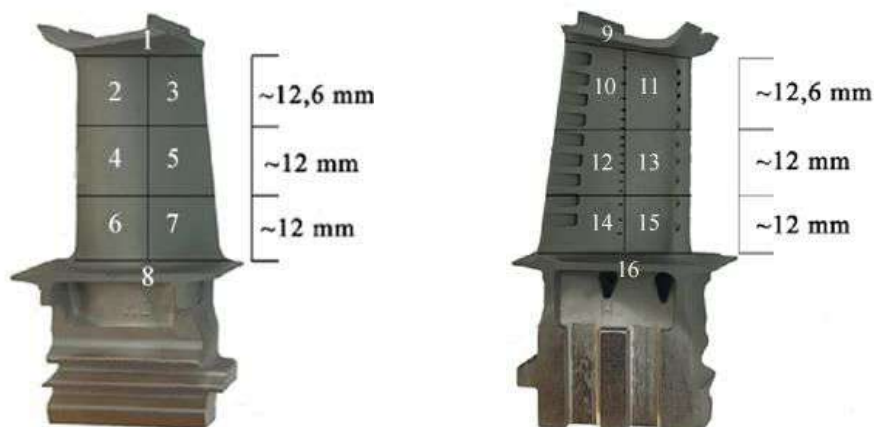


Рисунок 1.4 – Робоча лопатка з типовою розміткою на зони

Таблиця 1.3 – Розташування дефектів покриття лопатці

№ п/п	Ділянка дефекту, «+» - наявність дефекту покриття															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	-
2	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	+
3	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
4	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	+
5	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	+	+	+
6	+	-	-	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
Разом	1	1	1	1	1	2	0	1	0	1	2	1	2	1	2	3

1.2. Аналіз діючого виробництва

Для нанесення жаростійкого покриття іонно-плазмовим методом на серійному виробництві АТ «Мотор Січ» застосовуються установки АПН-250 (рис. 1.5, табл. 1.4). На рисунку 1.5 показані: анод, катод та місця для розташування допоміжної оснастки з лопатками в середині камери напилення. Установка напилення у свої камері дозволяє розмістити від 24 до 72 шт. лопаток, які рухаються між катодом та анодом по планетарній схемі. Установка має сучасну автоматичну систему управління на основі промислового комп'ютера і PLC-контролерів, для іонного джерела живлення і дугового випарника застосовуються нові інверторні блоки живлення на базі IGBT- технологій. Від загальної маси катоду у 25 кг його коефіцієнт використання матеріалу на установці АПН-250 складає від 30 % до 40 %..

Нанесення захисного покриття виконують шляхом осадження іонів з потоку плазми у вакуумному середовищі, іони додатково прискорені електричним полем на установці [3]. Для нанесення покриття в установці використовують плазму з енергією часток до 103 еВ, отриману методом катодного вакуумно-дугового розпиленням матеріалу. При енергії іонів від 400 еВ до 500 еВ виконується іонне очищення поверхні лопатки шляхом її бомбардування іонами плазми матеріалу покриття, енергія іонів відповідає негативному потенціалу на лопатці від 200 В до 250 В [3]. Деталі розміщуються за допомогою оснастки (касети) на планетарному механізмі, який дозволяє обертати деталі навколо циліндричного катода, який випаровується, та навколо власної осі лопатки. Поверхневий шар активується в процесі іонного очищення, та нагрівається до утворення перехідної зони між основним матеріалом и нанесеним покриттям. Струм вакуумної дуги 750 А забезпечує установці швидкість випаровування від 200 г / год до 215 г / год на обертовій підкладці 25 мкм / год [4]. Максимальну швидкість осадження покриття на деталі забезпечує розмішування їх в установці на рівні зони випаровування. При

нанесенні покриття Ni-Cr-Al-Y на поверхню лопатки необхідно враховувати, що покриття має дифундуючу здатність в матеріал лопатки величиною від 5 % до 10 % від загальної товщини шару покриття.



Рисунок 1.5 – Установка для нанесення жаростійкого покриття в вакуумі

Таблиця 1.4 – Технічні характеристики установки АПН-250

Коефіцієнт матеріалу, що використовується, %	40...70
Швидкість конденсації покриття, мкм/хв	1...5
Кількість виробів що оброблюються одночасно, шт.	Кратне 12
Споживна потужність, кВт	60
Габаритні розміри виробів, мм (діаметр / висота)	120/200
Тиск в камері при іонізаційному очищенні виробів, Па	$1,33...1,33 \times 10^{-1}$
Тиск в камері при нанесенні покриття, Па	$2,66 \times 10^{-2}...6,65 \times 10^{-3}$
Габаритні розміри установки, мм (довжина / ширина / висота)	3680 / 3796 / 3100

Перед нанесенням захисного покриття лопатки повинні пройти 100 % візуальний контроль, буди без механічних пошкоджень та без забруднень (сліди мастил або мастильно-охолоджуючих рідин). Шорсткість поверхні повинна відповідати технічним вимогам креслення. Очищення від забруднень складається з промивки лопатки в бензиновому розчиннику, ацетоні та дистильованій воді, після чого вони проходять повітряно-абразивне обдування. від якості проведення підготовки деталей для напилення залежить адгезія покриття з матеріалом основи, стабільність технологічного процесу нанесення покриття, відсутність включень та домішок у шарі покриття.

Після операцій з очищенням лопатки встановлюються в оснастку та завантажуються в камеру установки АПН-250, де здійснюється вакуумування до тиску $P = 6,65 \times 10^{-2}$ Па ($6,65 \times 10^{-8}$ МПа) та нижче. Після вакуумування виконується іонне очищення та осадження покриття на деталі. Іонне очищення сприяє на адгезію покриття з матеріалом основи.

Процес іонного очищення:

- встановити мінімально можливий струм стійкого горіння вакуумної дуги в межах I_d від 375 А до 425 А для зниження ймовірності мікродугових розрядів;
- дотримуватися стабільного горіння дуги, струм підмагнічування катоду від 0 А до 5 А;
- напруга на виробі $U_{\text{вир}} = 240$ В;
- час проведення іонного очищення – 5 хв.

Після процесу іонного очищення та зниження потенціалу на виробі починається етап осадження (кондунсацій) покриття. Швидкість конденсації покриття пропорційно залежить струму дугового розряду, а відповідно і товщина покриття (від часу осадження). Режим обробки лопаток: струм дугового розряду I_d від 575 А до 625 А; струм на виробі від 7 А до 9 А; час напилення від 180 хв. до 190 хв. Товщина шару покриття від 30 до 50 мкм. Після завершення осадження деталі охолоджуються в вакуумі протягом 50 хв.

Катооди, що випаровуються, повинні забезпечити покриттю такі властивості: високу щільність, адгезію, рівномірний розподіл хімічного складу та структури. Слід врахувати, що на вище перераховані властивості значно впливає якість використовуваних катодів. З метою зменшення кількості дефектів катодів у процесі їх експлуатації, вже на стадії виготовлення, до катодів висуваються суворі вимоги з контролю якості.

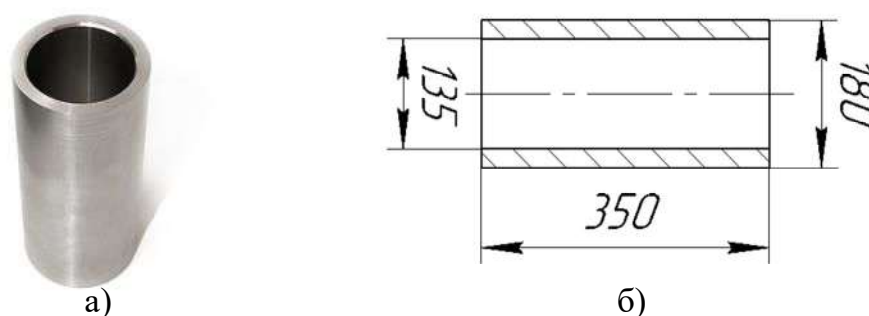
Зовнішній вигляд катоду наведено у рисунку 1.6. На зовнішній поверхні катода допускається наявність одиночних пор, раковин або інші дефекти розміром не більше 5 мм в кількості не більше 3 штук на загальну площу 25 см² з відстанню між дефектами не менше 20 мм при виконанні рентгеноконтролі заготовки, кількість таких дефектів на одному зливку не більше 15 шт. Допускаються дрібні дефекти, діаметром до 2 мм, групового розташування (від 3 до 5 дефектів) з відстанню між групами дефектів більше 20 мм. Кількість таких груп дефектів на зливку не більше 25.

На сьогоднішній день для нанесення жаростійких покриттів на підприємстві використовують катооди виготовлені методом вакуумно-індукційної виплавки. Вакуумно-індукційний метод полягає у наведенні змінного електромагнітного поля в індукційних печах за допомогою спіралеподібного індуктора, який охолоджується повітрям або водою, по якому пропускається первинний змінний електричний струм. Переплавлений ливарний сплав або стінка тигля застосовується як вторинна обмотка, саме в них вторинний струм переходить (генерується) в теплову енергію. За стан поверхні зливка відповідає ливарна форма, а саме з якого матеріалу вона виготовлена та здатність чинити опір розмиванню під дією шлаку. За метою усунення внутрішніх пор литий катод піддається гарячій ізостатичній обробці на пресі фірми QUINTUS [5]. Після операції лиття заготовка катоду вакуумно-індукційної виплавки підвергається етапу механічної обробки з метою забезпечення необхідних розмірів зазначених у кресленні (рис 1.6, б).

Після механічної обробки заготовки виготовлені катоди відповідають вимога по стану поверхні та потрапляють на виробництво, але після операцій напилення вони мають від 150 поверхневих дефектів (рис 1.7), таких як:

- наявність одиночних пор, раковин або інші дефекти розміром більше 5 мм (рис 1.8, а, б);
- дрібні дефекти, діаметром більше 2 мм, групового розташування (рис 1.8, в).

В процесі нанесення покриття дефекти катода, що утворюються, призводять до виникнення дефектів покриття на лопатках. Поверхневі дефекти катодів та їх кількість визначаються методами їх виготовлення.



а – зовнішній вигляд; б – переріз катоду.

Рисунок 1.6 – Зовнішній вигляд катоду, що випаровується

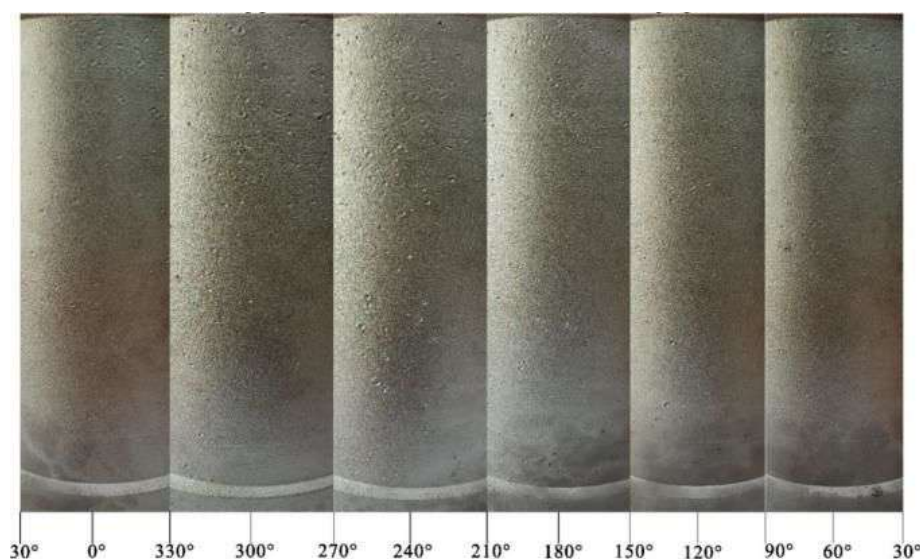
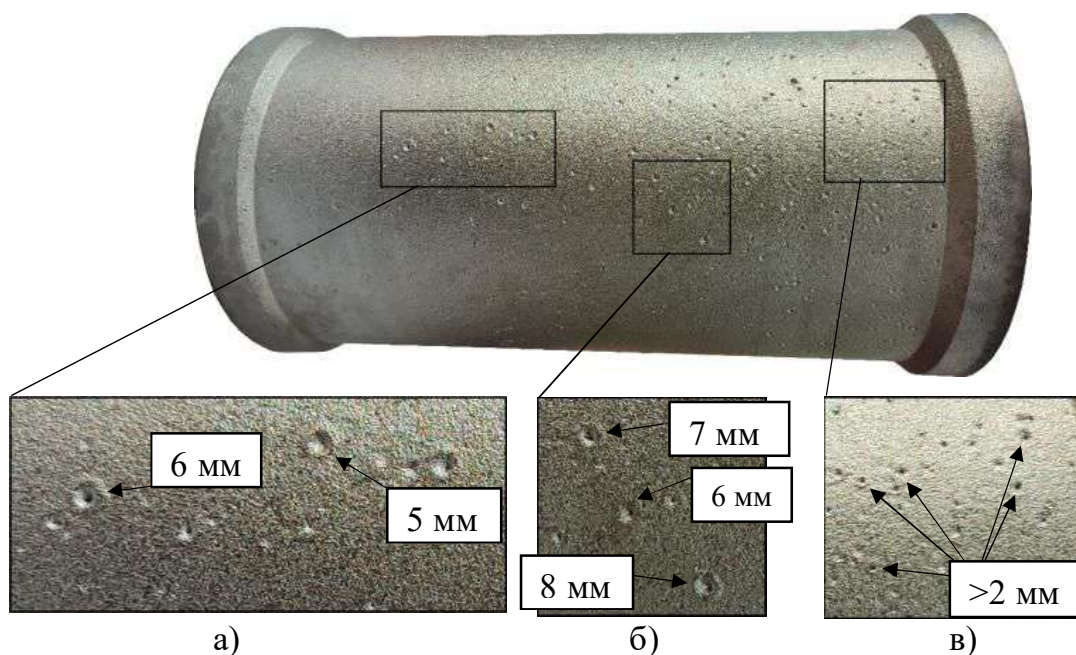


Рисунок 1.7 – Розгортка литого катоду Ni-Cr-Al-Y, виготовленого методом вакуумно-індукційної виплавки



а) – 2 одиничні дефекти розміром 6 мм та 5 мм; б) – 3 одиничні дефекти розміром 7 мм, 6 мм та 9 мм; в) – дрібні дефекти групового розташування більше 2 мм.

Рисунок 1.8 – Поверхневі дефекти литого катоду

1.3 Аналіз методів виготовлення катодів для іонно-плазмових покриттів

Для виготовлення трубних катодів із жаростійкого сплаву Ni-Cr-Al-Y у серійному виробництві, крім вакуумно-індукційної виплавки, використовують ще три основних металургійних методів виготовлення:

- електронно-променевий переплав;
- вакуумно-дуговий переплав;
- гранульна металургія.

Електронно-променевий переплав полягає на використанні теплової енергії, що виділяється в розплавленому металі при бомбардуванні його швидкими електронами. Електрони стикаючись з поверхнею нагрітого металу,

підвищуючи його температуру. Отримати щільний потік електронів можливо тільки в глибокому вакуумі, при робочому тиску не нижче 10^{-2} Па. Саме тому усі установки електронно-променевого переплаву забезпечені спеціальними насосами для отримання глибокого вакуума [6].

Основними перевагами методу електронно-променевого переплаву є [7]:

- значно зменшений вміст газів в металі;
- висока ступінь чистоти по неметалевим включенням;
- рівномірність структури сплаву з регулюванням розміру зерна.

Основними недоліками методу електронно-променевого переплаву є:

- неможливість використання лігатури в виді дрібно роздробленого злитка дрібної фракції, так як вони починає вигоряти в процесі плавлення;
- у зв'язку з поступовим оплавлення роздробленого злитка виникає неоднорідність складу зливку.
- наявність ливарної форми під час кристалізації металу, що впливає на з'явлення інтерметаліди скупчень у металі.

Метод вакуумно-дугового переплаву полягає на нагріванні і плавленні витратного електроду електричною дугою великої потужності, завдяки чого відбувається переплавлення металу [8].

Між торцем переплавного електрода та поверхнею ванни рідкого металу горить дуга. Переплав здійснюється у вакуумному середовищі. З вакуумної камери безперервно відкачуються гази, що виникають в процесі переплавки металу. Через ущільнення в вакуумній камері вводиться шток на якому кріпиться електрод. Під час оплавлення електрода відбувається його автоматичне переміщення з метою постійної відстані між торцем електроду та зливком. Під дією високої температури дуги з торцю електрода безперервно стікає метал у вигляді крапель та потрапляє в мідний водоохолоджувальний кристалізатор, де формується зливоч.

Основними перевагами вакуумно-дугового переплаву є:

- однорідність фазових складових та рівномірний розподіл структурних складових зливка;

- значне видалення газів та неметалевих включень з металу.

Основними недоліками вакуумно-дугового переплаву є:

- необхідність використання витратного електроду та «закритого» кристалізатору у вакуумі;

- наявність ливарної форми під час кристалізації металу, що впливає на з'явлення інтерметаліди скупчень у металі.

- необхідність використання витратного електроду схожого хімічного складу, як і виготовляемого сплаву.

- неможливість порційної подачі компонентів

- можливість неоднорідності за хімічним складом по висоті зливка.

Метод металургії гранул для виготовлення катоду полягає у використанні гарячого ізостатичного пресу в якому робочим тілом, що передає всебічний тиск, зазвичай є інертний газ, який рівномірно ущільняється при забезпеченні стабільності хімічного складу заготовки [9].

Високолеговані гранули використовуються для виготовлення деталей на основі нікелю, алюмінію та титану відповідального призначення у різних галузях: авіаційній, космічній, а саме для дисків газотурбінних двигунів, елементів енергетичних установок, тощо [10]. Деталі, виготовлені з таких порошків, відрізняються підвищеною міцністю та пластичністю, рівномірним розподілом по хімічному складу та дисперсністю структури по всьому об'єму, що обумовлено високою швидкістю охолодження частинок в процесі розпилення рідкого металу [11].

Головні методи одержання гранул:

- газострумне розпилення рідкого металу;

- відцентрове плазмове розпилення.

Основні переваги технологій металургії гранул є:

- відсутність ливарної форми;

- високий рівень рівномірності хімічного складу, структури та механічних властивостей в об'ємі металу;
- мелкодисперсна структура за рахунок використання гранул до 60 мкм;
- легка оброблюваність одержаних заготовок механічним інструментом

Основний недолік технологій металургії гранул є обмеженість товщини матеріалу при компактуванні у від 40 мм до 50 мм.

1.4 Висновки до розділу 1

Виходячи з вимог, що пред'являються до жаростійких покриттів лопаток турбін та вимог до катодів необхідно підібрати метод виготовлення витратного матеріалу, котрий забезпечує однорідність і рівномірний розподіл хімічного складу та структури, дрібнодисперсність мікроструктури (розмір фаз від 10 мкм до 80 мкм) та щільність катоду.

Метод електронно-променевого переплаву не відповідає критеріям підбору виготовлення катоду, оскільки метод не забезпечує:

- однорідність складу зливку у зв'язку з поступовим оплавленням роздробленого злитка матеріалу;
- дрібнодисперсність мікроструктури у зв'язку з неможливістю використання використовування лігатури в виді дрібно роздробленого злитка дрібної фракції, тому передбачуване отримання структурних фаз розміром більше 150 мкм;

Методи вакуумно-дугового переплаву дозволяє отримати катод, який відповідає вимогам до них, але наявність ливарної форми необхідної для задачі проекту дрібнодисперсної структури.

Металургії гранул дозволяє отримати катод, що задовольняє рівень рівномірності хімічного складу та структури, у зв'язку з методом виготовлення. Передбачається отримання дрібнодисперсної мікроструктури, оскільки

вихідний матеріалу (гранули) розміром до 60 мкм мають рівномірний розподіл структури та її дрібнодисперсність, що у процесі спікання гранул дозволяє отримати катод з такими ж структурними властивостями.

Оцінюючи можливу собівартість технології виготовлення катоду методом вакуумно-дугового переплаву та металургії гранул, можна зазначити, що вакуумно-дугова технологія виготовлення у порівнянні з металургією гранул у рази дешевша, виходячи з аналізу світового ринку.

Ґрунтуючись на раніше викладеному, у серійному виробництві краще буде використовувати катод виготовлений технологією вакуумно-дугового переплаву. Але, якщо не враховувати велику собівартість методу металургії гранул, найкращім варіантом для збільшення якості покриттів під час нанесення буде гранульний катод, у зв'язку відсутності ливарної форми, що дозволяє отримати дрібнодисперсну структуру сплаву. Саме тому, проведення дослідження використання катоду металургії гранул, виконати порівняльний аналіз нового катоду з базовим та порівняння покриттів нанесених з їх використанням - є важливим завданням, враховуючи витрати на доопрацювання деталей з застосуванням базового катода та витрати з застосуванням гранильного катоду.

2 МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Обладнання для виготовлення дослідних катодів

Для виготовлення гранульних катодів Ni-Cr-Al-Y використовували установку гарячого ізостатичного пресування (рис. 2.1) із застосуванням пресу фірми QUINTUS, шляхом компактування гранул фракцією до 60 мкм за температурою $(1160 \pm 10)^\circ\text{C}$ і робочого тиску 100 МПа впродовж 4 годин. Гранули одержані газоструменевим розпиленням приготовленого рідкого розплаву (металу) у керамічному тиглі з подальшою сепарацією і очищенням від неметалевих та металевих включень, та дегазацією (таблиця 2.1).

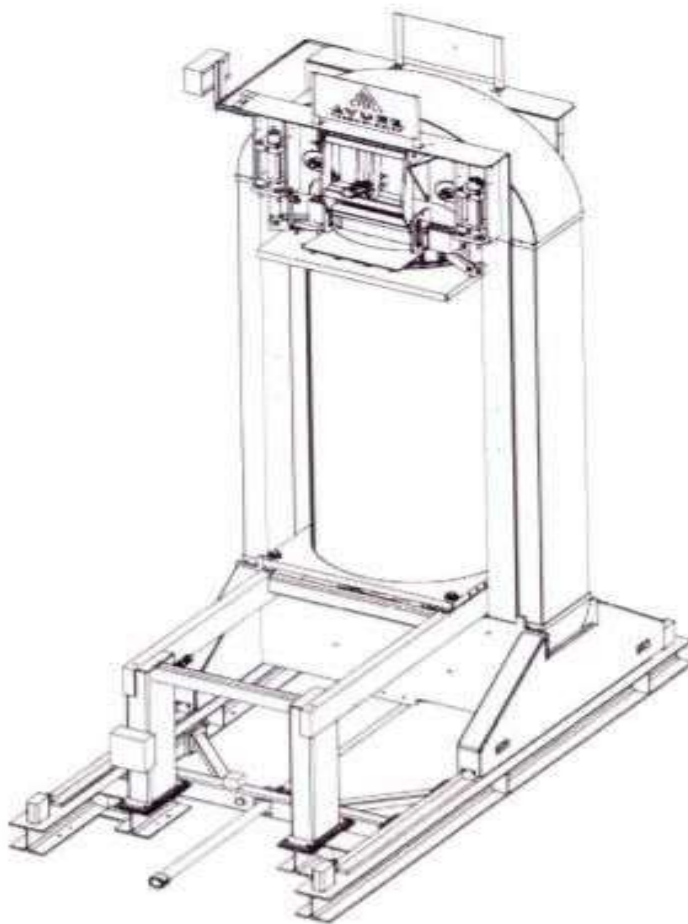


Рисунок 2.1 – Схематичне зображення пресу QUINTUS

Таблиця 2.1 – Хімічний склад гранул з розплаву Ni-Cr-Al-Y

Хімічний склад, % мас.			
Ni	Cr	Al	Y
Осн.	21,7...24	11,4...13	0,5...0,9

2.2 Визначення хімічного складу та металографічні дослідження дослідних катодів

Згідно ГОСТ 5632-72 «Сталі високолеговані і сплави корозійно-стійкі, жаростійкі і жароміцні. Марки» рентгеноспектральним методом визначали хімічний склад. Рентгеноспектральним аналізом на портативному спектрометрі DPO-2000 визначали елементний хімічний склад сплавів і покриттів.

Макро- і мікроструктурні дослідження шліфів матеріалів катода здійснювали на растровому електронному мікроскопі JSM-IT300LV (Jeol, Японія) та оптичному мікроскопі «Axio Observer. Dlm» (Karl Zeiss, Німеччина). Травлення шліфів виконували з використанням розчину «Фрі» (хлорид заліза FeCl_3 – 27 г.; кислота соляна – 36 мл.; вода – 30 мл.) від 4 до 6 секунд [12, 13].

Шліфи виготовляли на установці AUTOMET-2, згідно ДСТУ 8972:2019 оцінювалась величина зерна. При шліфуванні використовували абразив з розміром зерна P240, P400, P600 та з подачею води. Фінішне полірування виконували на фетровому крузі з додаванням алмазної емульсії (фракцією 3 мкм). Дослідження шару покриття виконували на растровому електронному мікроскопі РЕМ-106И. Якість розподілу основних легуючих елементів, структуру та склад покриття виконували на травлених шліфах на багатоцільовому растровому мікроскопі JSM-IT300LV з системою рентгеноспектрального енергодисперсійного мікроаналізу (PCMA) X-Max 80.

2.3 Контроль якості покриття

Після нанесення покриття на деталі проводиться контроль якості на підставі 100 % візуального огляду. Нанесенні покриття повинні мати однорідний матовий сірий колір, бути без подряпин та забоїв, без сколів та спучувань або розтріскування покриття. Допускаються темні або світлі пляма вільної форми при візуальному контролі після відпалу лопаток та видаленню окисів з них.

Контроль капілярним методом ЛЮМ1-ОВ після відпалу та обдування мікропорошком електрокорундом проводиться згідно нормативного документу ДСТУ 12706 (Якість продукції. Неруйнівний контроль. Капілярні методи) [14, 15]. Крапельна фаза покриття повинна не перевищувати норми, що зазначені у таблиці 2.2.

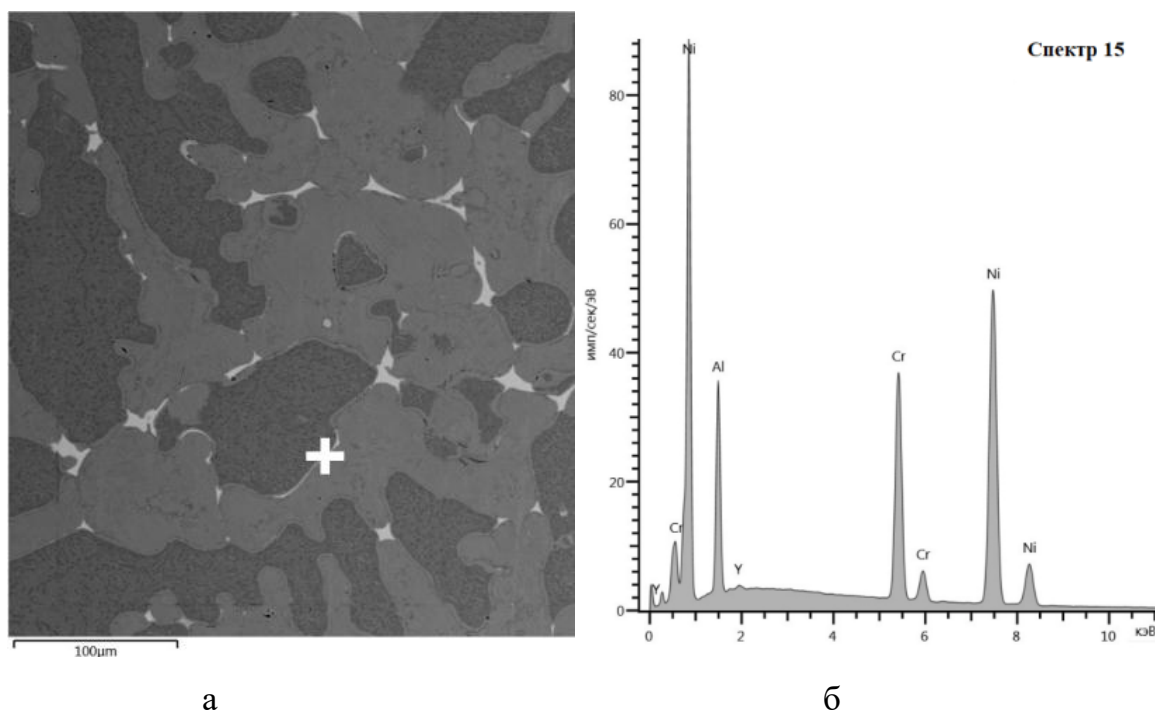
Таблиця 2.2 – Норми крапельної фази покриття

Поверхня	Допустимі норми		
	Діаметр краплі, мм	Відстань між краплями, мм не менше	Кількість, шт.
Перо лопатки: Радіус вхідної кромки, радіус вихідної кромки	Не дозволяється більше 0,3 мм		
Перо лопатки: Спинка, корито	0,31...0,8	5	3
Радіус переходу поверхні пера з полицею хвостовика	0,31...0,8	5	3
Проточна поверхня полки хвостовика	0,5 не більше	3	4

3 ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ КАТОДІВ НА ЇХ СТРУКТУРУ ТА СТАН ПОВЕРХНІ

3.1 Дослідження катоду виготовленого методом вакуумно-індукційної виплавки

Методом рентгеноспектрального аналізу визначено хімічний склад сплаву литого катода. Результати аналізу хімічного складу дослідного катоду наведені у рисунку 3.1 і таблиці 3.1, та відповідають нормативно-технічній документації. За результатами макроструктурного аналізу матеріал катоду щільний, дірчастості та трищин, які по кількості або розмірам перевищується вимоги нормативно-технічної документації, не виявлено.



а) – мікроструктура катода позначеної зони аналізу; б) – спектрограми позначеної.

Рисунок 3.1 – Результати рентгеноспектрального аналізу катода

Таблиця 3.1 – Хімічний склад катоду Ni-Cr-Al-Y, виготовленого методом вакуумно-індукційної виплавки, мас. %

№ п/п	Назва спектру	Спектр 15
1	Al	12,5
2	Cr	21,8
3	Ni	65,26
4	Y	0,44

За результатами електронно-мікроскопічного дослідження встановлено, що структура катоду являє собою γ -твердий розчин на основі Ni з інтерметалідними Ni-Cr-Al та ітрієвими окремими включеннями. Для встановлення складу фаз виконано хімічний аналіз у точках зазначених на рисунку 3.2, за результатами аналізу складено таблицю 3.2.

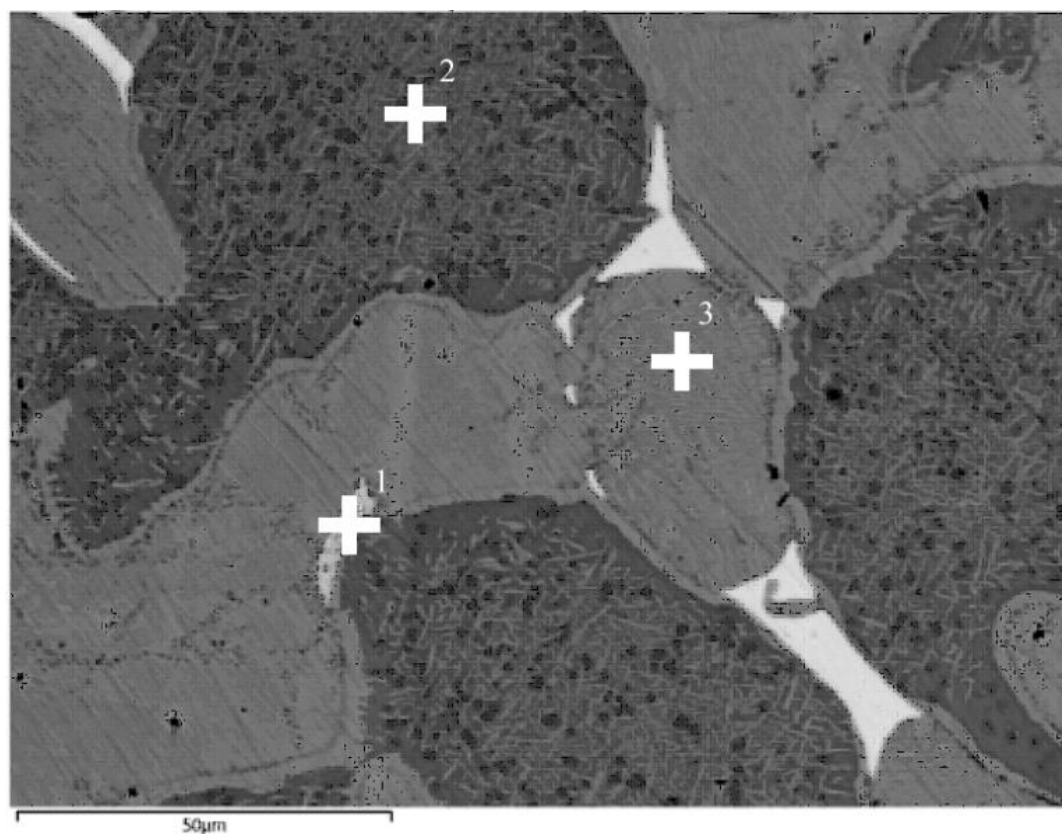
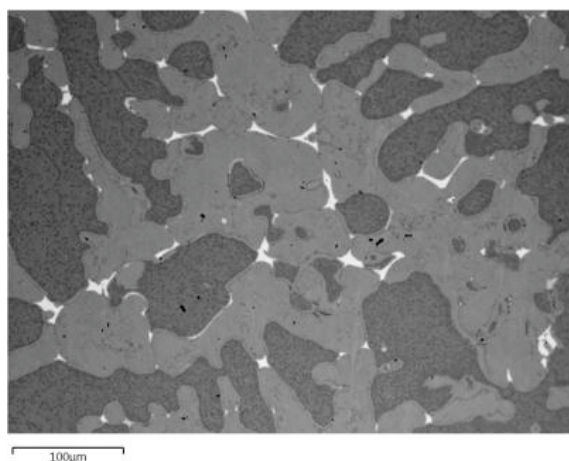


Рисунок 3.2 – Результати рентгеноспектрального мікроаналізу катода, з позначеними точками аналізу хімічного складу

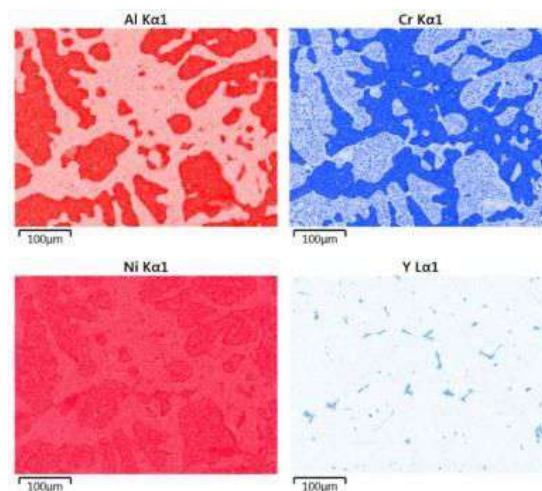
За результатами РСМА у режимі картування катоду изготовленного методом вакуумно-індукційної виплавки можна чітко побачити окремі фази де одні збагачені алюмінієм, а інші хромом (рис. 3.3). Фаза збагачена алюмінієм має морфологію наближену до правильної, тоді як форма фаз з хромом являє біль розгалужену структуру, що є характерною ознакою для технології вакуумного індукційного переплаву за різними умовами та температурою кристалізації фаз. Розмір структурних фаз становить від 10 мкм до 90 мкм, але в окремих випадках може перевищувати 100 мкм.

Таблиця 3.2 – Хімічний склад точок, позначених на рисунку 3.2, мас. %

Елемент, мас. %	Точка аналізу		
	1	2	3
Al	7,31	19,2	6,84
Cr	11,6	13,1	30,74
Ni	61,99	67,63	62,42
Y	19,1	0,07	0,00



а)



б)

а – електронна фотографія аналізу, б – карти розподілу хімічних елементів.

Рисунок 3.3 – Інтенсивність розподілу хімічних елементів катоду

Встановлено, що розміри твердого розчину та інтерметалідних фаз від 50 мкм до 200 мкм. Розмір фаз, що містять у своєму складі іттрій від 15 мкм до 30 мкм – це свідчить про погану розчинність іттрію у складі сплаву. Дисперсність ітрієвої фази в складі структури катоду в деяких місцях представляє собою конгломерати протяжністю понад 40 мкм.

Наявність скупчення ітрієвих фаз в процесі напилення із-за високого потенціалу іонізації можуть привести до локального випаровування цих фаз, що спричинить до виникнення дефектів на поверхні використовуємого катоду, які сприяють к виникненню дефектів покриття на лопатках.

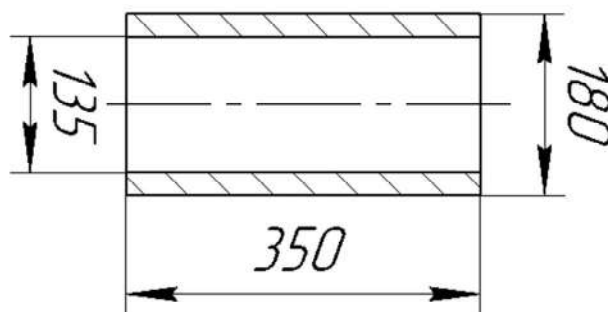
3.2 Дослідження катоду виготовленого методом гранульної металургії

Катод, виготовлений методом гранульної металургії за рахунок компактування гранул матеріалу складу Ni-Cr-Al-Y фракцією від 60 мкм, виготовлені газостременим розпилюванням розплаву [16], в гарячому ізостатичному пресі. Після операції компактування заготівка катоду гранульної металургії підвергається етапу механічної обробки з метою забезпечення необхідних розмірів зазначених у кресленні (рис. 3.4, б).

Результати аналізу хімічного складу дослідного катоду наведені у рисунку 3.5 та таблиці 3.3, та відповідають нормативно-технічній документації. За результатами макроструктурного аналізу матеріал катоду щільний, дірчастості та трищин, які по кількості або розмірам перевищується вимоги нормативно-технічної документації, не виявлено. За результатами електронно-мікроскопічного дослідження встановлено, що структура катоду металургії гранул являє собою γ -твердий розчин на основі Ni з інтерметалідними Ni-Cr-Al фазами змінного складу, та ітрієвими окремими включеннями, розподілених по матеріалу катода [17].



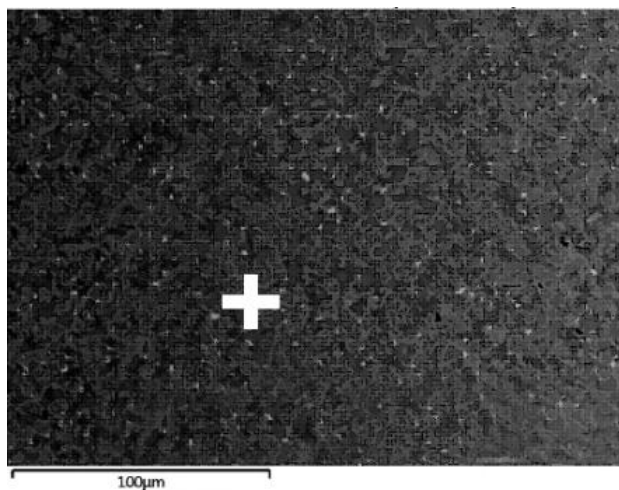
а)



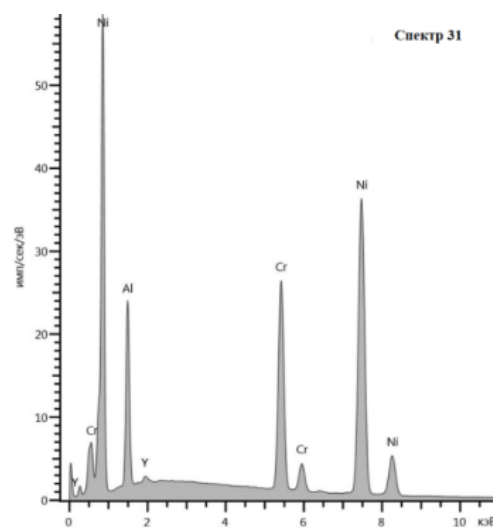
б)

а) – зовнішній вигляд; б) – переріз катоду.

Рисунок 3.4 – Катод гранульної металургії після операції механічної обробки



а)



б)

а – мікроструктура катода з позначеною точкою аналізу; б – спектрограми позначених зон.

Рисунок 3.5 - Результати рентгеноспектрального аналізу катода Ni-Cr-Al-Y, виготовленого методом металургії гранул

Для встановлення складу фаз виконано хімічний аналіз по точкам зазначених на рисунку 3.6, за результатами аналізу складено таблицю 3.4. Встановлено, що мікроструктури сплаву катоду гранульної металургії являють собою двофазний сплав розміром від 10 мкм до 35 мкм, а розмір фаз які містять іттрій від 1 мкм до 3 мкм.

Таблиця 3.3 – Хімічний склад катоду Ni-Cr-Al-Y, виготовленого методом металургії гранул, мас. %

№ п/п	Назва спектру	Спектр 15
1	Al	12,1
2	Cr	19,7
3	Ni	67,62
4	Y	0,58

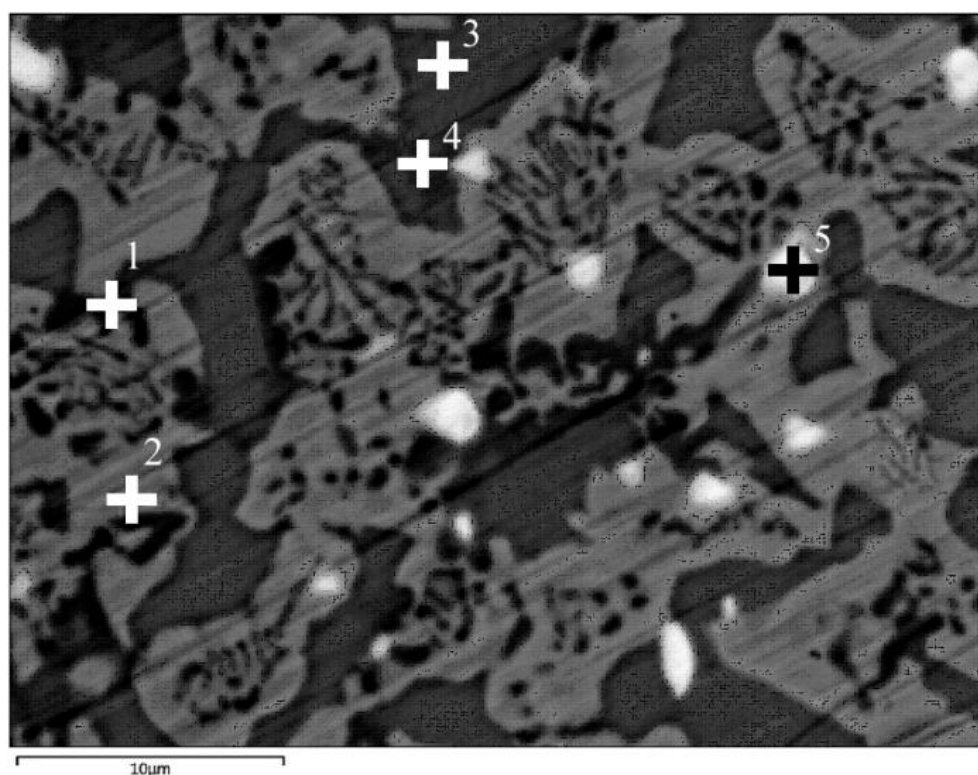
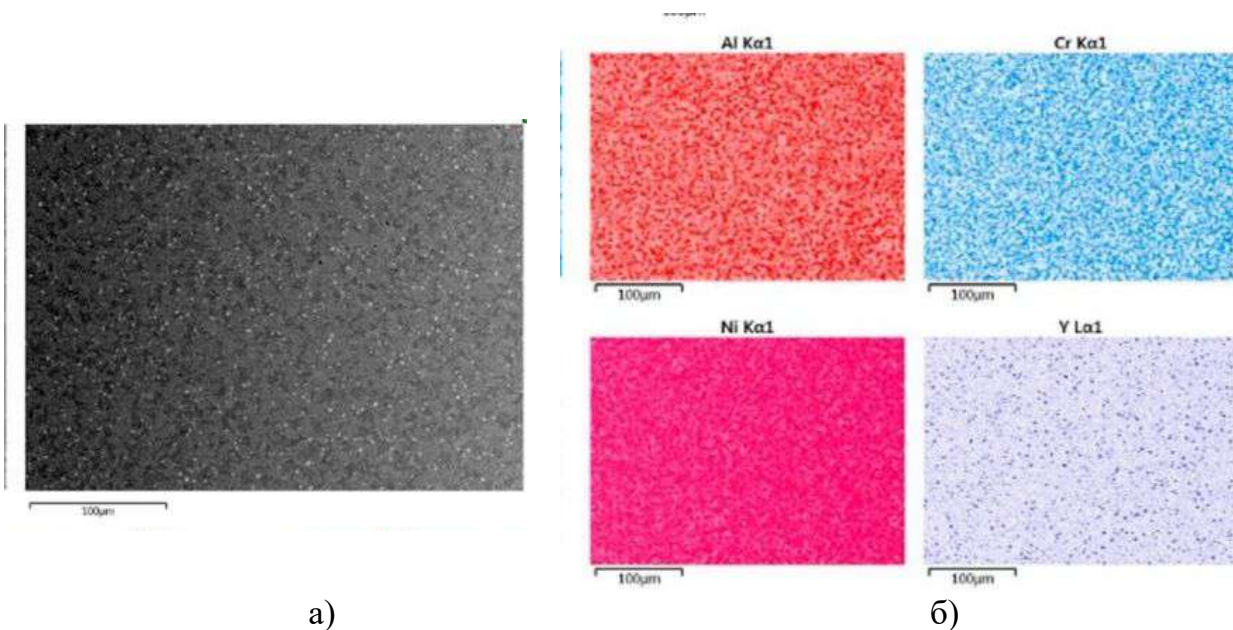


Рисунок 3.6 – Результати рентгеноспектрального мікроаналізу катода Ni-Cr-Al-Y, виготовленого методом металургії гранул, з позначеними точок аналізу хімічного складу

Таблиця 3.4 – Хімічний склад точок, позначених на рисунку 3.6, мас. %

Елемент, мас. %	Спектр				
	1	2	3	4	5
Al	7,7	12,05	20,1	8,91	5,68
Cr	35,315	8,35	5,4	3,83	29,3
Ni	57,12	79,6	74,5	34,11	41,2
Y	0,135	0,00	0,00	0,52	23,79

Матеріал гранульного катоду має високу дисперсність та однорідність усіх структурних фаз (рис. 3.7). Розмір ітрієвої фази не перевищує 3 мкм та форма наближена до правильної. Це обумовлено застосуванням гранул розміром до 60 мкм при компактуванні катоду, та відповідно являється спадковістю технології металургії гранул.



а - електронна фотографія зони аналізу, б - карти розподілу хімічних елементів по зоні аналізу.

Рисунок 3.7 - Інтенсивність розподілу хімічних елементів катоду, виготовленого методом металургії гранул

Трубний катод, виготовлений методом металургії гранул, пройшов випробування на установці АПН-250. Після першого циклу нанесення покриття поверхні катоду стало більш шорсткою, але поверхневих дефектів, які мають місце на катодах виготовлених методом вакуумно-індукційної виплавки – не виявлено (рис. 3.8). Установка з дослідним катодом працює стабільно, всі технологічні параметри відповідають серійній технології.



Рисунок 3.8 – Зовнішній вигляд катода, виготовленого методом металургії гранул, після експлуатації

3.3 Дослідження покриття, нанесеного з використанням катоду виготовленого методом вакуумно-індукційної виплавки

Покриття Ni-Cr-Al-Y наносилось з використанням катоду, виготовленого методом вакуумно-індукційної виплавки. Товщина покриття становила від 30 мкм до 50 мкм (табл. 3.5). Встановлено хімічний склад та вміст хімічних елементів у ділянках покриття згідно з рисунком 3.9, за результатами аналізу складено таблицю 3.6

Таблиця 3.5 – Товщина вимірювання шару покриття на поверхні лопатки

Метод виготовлення катоду	Товщина покриття, мкм				
	вх. кромка	вих. кромка	спинка	корито	полиця хвостовика
Вакуумно-індукційна виплавка	36...41	35...40	40...46	35...41	25...36

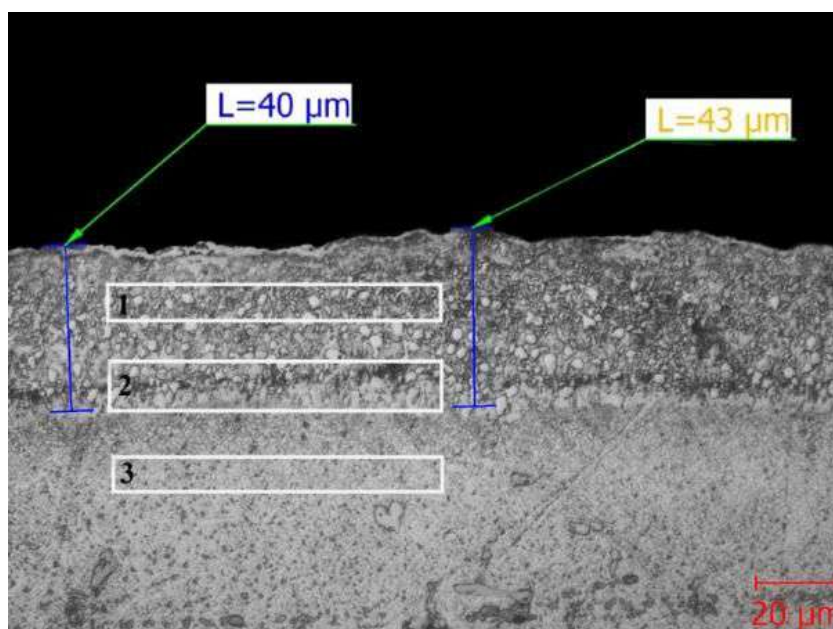


Рисунок 3.9 – Хімічний аналіз складу покриття Ni-Cr-Al-Y нанесеного з використанням катоду вакуумно-індукційної виплавки

Таблиця 3.6 - Хімічний склад покриття нанесеного з використанням катоду вакуумно-індукційної виплавки

№ зони	Вміст елементів, мас. %					
	Al	Cr	Ni	Y	W	Co
1	9,71	19,72	68,4	0,35	-	-
2	8,46	18,16	63,3	0,2	5,16	1,98
3	5,93	5,27	61,4	-	13,41	9,31

Аналіз нанесеного покриття показує, що в усіх лопатках, які не потрібно доопрацьовувати, тріщин та відшарувань покриття не виявлено. Міцність зчеплення шару покриття з поверхнею лопатки задовільна. За допомогою скануючої растрової електронної мікроскопії оцінено якість поверхні лопаток з покриттям Ni-Cr-Al-Y, нанесеним із застосуванням катоду вакуумно-індукційної виплавки (рис. 3.10). Кількість і розміри крапельної фази на поверхні покриття лопатки наведені у табл. 3.7. Результати виміру шорсткості поверхні лопатки після нанесення покриття з використанням катоду вакуумно-індукційної виплавки наведені у таблиці 3.8

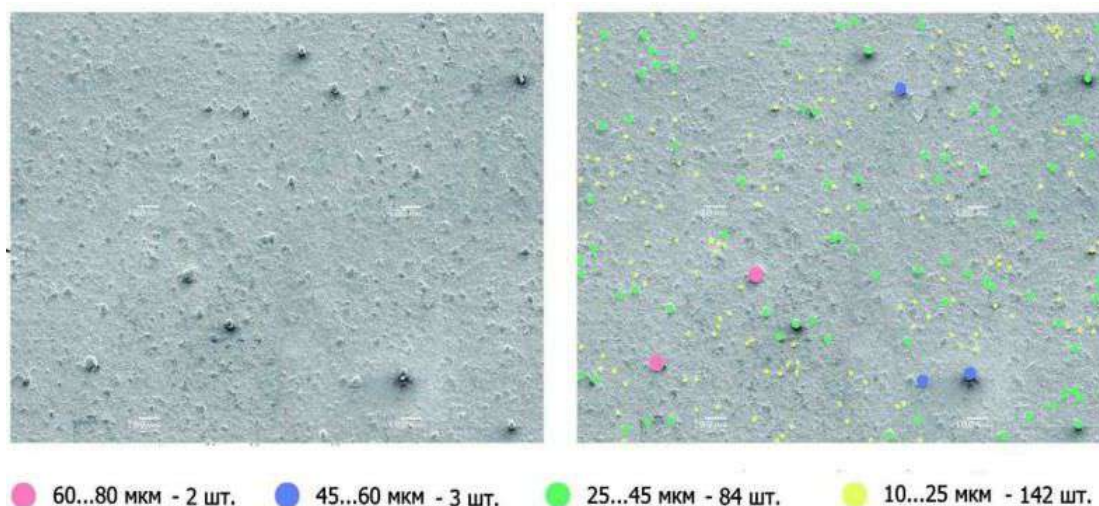


Рисунок 3.10 – Зовнішній вигляд крапельної фази на поверхні лопатки після нанесення покриття з використання катоду вакуумно-індукційної виплавки

Таблиця 3.7 – Кількість і розміри крапельної фази на поверхні покриття

Метод виготовлення	Кількість крапель за розміром фракції, шт.			
	10...25 мкм	25...45 мкм	45...60 мкм	60...80 мкм
Вакуумно-індукційна виплавка	142	84	3	2

Таблиця 3.8 – Результати виміру шорсткості лопаток

Метод виготовлення	Шорсткість пера лопатки Ra, мкм	
	Спинка	Корито
Вакуумно-індукційна виплавка	2,19	2,01

3.4 Дослідження покриття, нанесеного катодом металургії гранул

Покриття Ni-Cr-Al-Y з використанням катоду металургії гранул на установці АПН-250 на параметрах серійного нанесення покриття. За результатами візуального контролю не біло виявлено лопаток з дефектами покриття. Встановлено хімічний склад та вміст хімічних елементів у ділянках покриття згідно з рисунком 3.11, за результатами аналізу складено таблицю 3.9.

Аналіз нанесеного покриття показує, що в усіх лопатках тріщин та відшарувань покриття не виявлено. Міцність зчеплення шару покриття з поверхнею лопатки задовільна. За допомогою скануючої растрової електронної мікроскопії оцінено якість поверхні лопаток з покриттям Ni-Cr-Al-Y, нанесеним із застосуванням катоду металургії гранул (рис. 3.12). Кількість і розміри крапельної фази на поверхні покриття лопатки наведені у таблиці 3.10.

Результати виміру шорсткості поверхні лопатки після нанесення покриття з використанням катоду металургії гранул наведені у таблиці 3.11 [18].

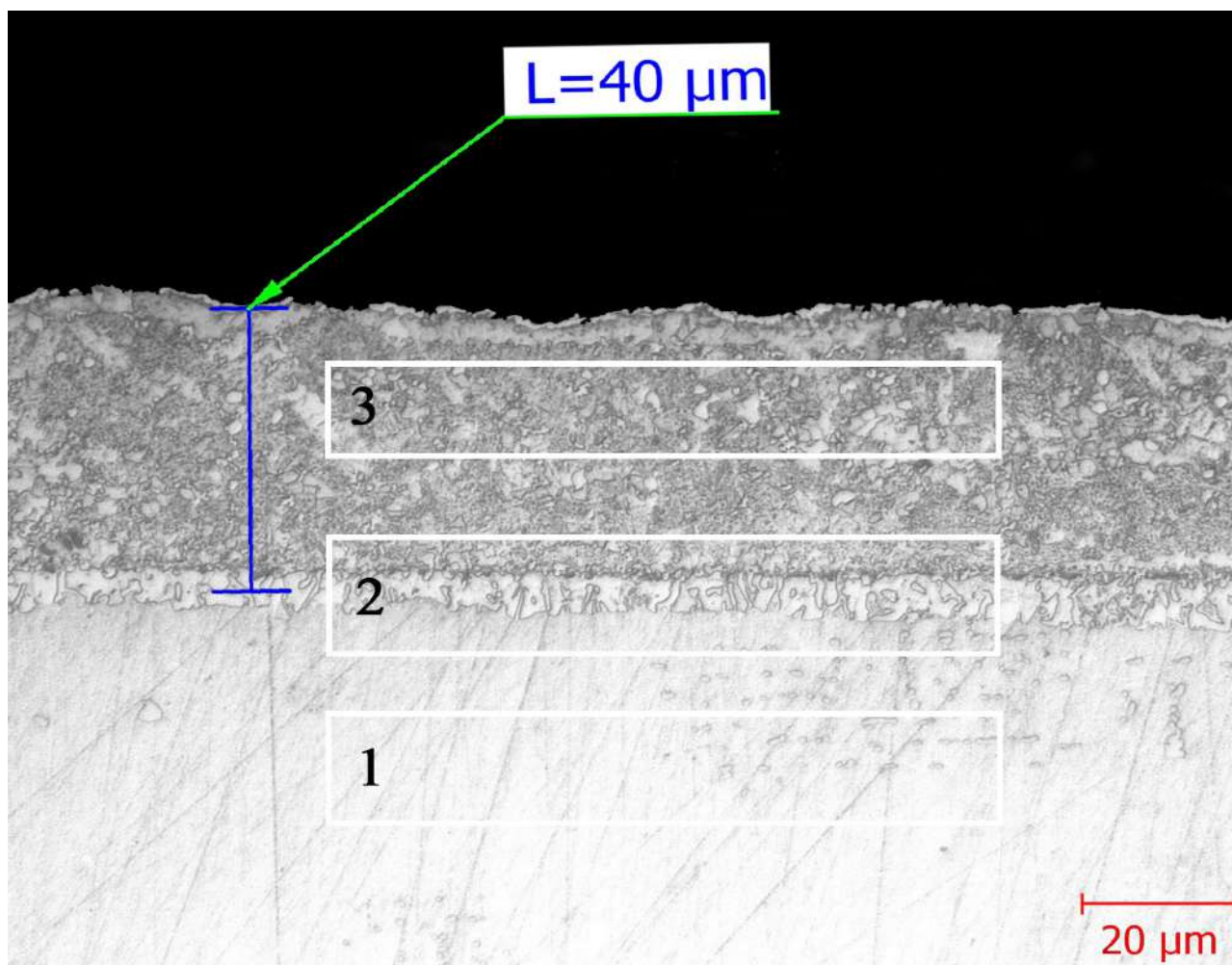
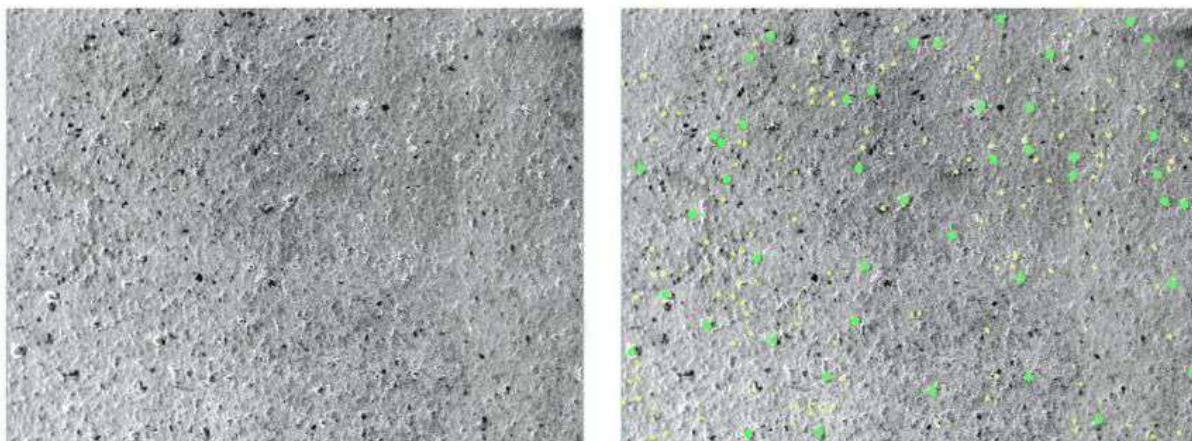


Рисунок 3.11 – Хімічний аналіз складу покриття Ni-Cr-Al-Y нанесеного з використанням катоду металургії гранул

Таблиця 3.9 - Хімічний склад покриття та вміст елементів, нанесеного з використанням катоду металургії гранул, у зонах згідно з рисунку 3.11

№ зони	Вміст елементів, мас. %					
	Al	Cr	Ni	Y	W	Co
1	6,22	5,12	62,89	-	11,34	9,38
2	7,84	18,3	64,39	0,29	4,32	2,01

3	8,95	20,65	69,26	0,47	-	-
---	------	-------	-------	------	---	---



● 60...80 мкм - 0 шт. ● 45...60 мкм - 0 шт. ● 25...45 мкм - 46 шт. ● 10...25 мкм - 120 шт.

Рисунок 3.12 – Зовнішній вигляд крапельної фази на поверхні лопатки після нанесення покриття з використання катоду металургії гранул

Таблиця 3.10–Кількість і розміри крапельної фази на поверхні покриття

Метод виготовлення	Кількість крапель за розміром фракції, шт.			
	10...25 мкм	25...45 мкм	45...60 мкм	60...80 мкм
Металургія гранул	120	46	0	0

Таблиця 3.11 – Результати виміру шорсткості лопаток

Метод виготовлення	Шорсткість пера лопатки Ra, мкм	
	Спинка	Корито
Металургія гранул	1,56	1,31

З таблиць 3.7 та 3.10 можна зробити висновок, що покриття нанесене з використанням катоду металургії гранул має в два рази менше крапельної фази розміром від 25 мкм до 45 мкм і повну відсутність крапельної фази розміром понад 50 мкм, порівняно з покриттям, нанесеного з використанням катоду вакуумно-індукційної виплавки. Зменшення крапельної фази зменшує шорсткість поверхні лопатки, що доказують данні наведені у таблицях 3.8 та

3.11, і відповідно, забезпечує кращу якість поверхні лопатки і трактових поверхонь в цілому. Шорсткість поверхні лопаток з покриттям Ni-Cr-Al-Y залежить від наявності крапельної фази, яка являє собою невід'ємну складову плазмового потоку при електродуговому розпиленні матеріалу катоду [19].

Також слід відмітити, що в процесі експлуатації катод, виготовлений методом металургії гранул витрачається рівномірніше, що впливає на припрацювання поверхні катоду та забезпечує збільшення кількості циклів роботи катода. З використанням катодів виготовлених металургією гранул у процесі нанесення жаростійкого покриття зменшено кількість лопаток, які необхідно доопрацювати від 20% до 1%.

3.5 Висновки до розділу 3

Застосування технології металургії гранул при виготовленні катодів дозволяє сформувати щільну, дисперсну макро-і мікроструктуру, що відрізняється однорідним фазовим складом та рівномірним розподілом структурних складових. При цьому, на катоду після циклу експлуатації відсутні поверхневі дефекти властиві вакуумно-індукційному переплаву – пори та раковини одиночного та групового характеру [20].

Покриття, отримане із застосуванням катода металургії гранул відповідає значній кількості вимог, що надаються до жаростійких покриттів робочих лопаток турбіни, а саме задовільна адгезія, щільність, рівномірність розподілу хімічного складу та структури. Покриття лопаток, нанесеного з використанням катоду металургії гранул, характеризується дрібнішою краплинною фазою та зменшенням кількості крапельної фракції, що покращує шорсткість поверхні лопаті (R_a від 1,3 мкм до 1,6 мкм) та стан трактових поверхонь загалом.

Застосування катодів, виготовлених за технологією металургії гранул порівняно з вакуумно-індукційними катодами, забезпечує стабільну роботу установки та збільшує термін експлуатації катодів, за рахунок зменшення

кількості механічних проходів для тимчасового зменшення кількості поверхневих дефектів катоду (з п'яти проходів до одного проходу).

4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОПОНОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

Мета дипломного проєкту полягає у підвищенні якості нанесення жаростійких іонно-плазмових покриттів, за рахунок використання витратного матеріалу (катоду) виготовленого методом металургії гранул. Сутність методу полягає в компактуванні гранул хімічного складу Ni-Cr-Al-Y, фракції до 60 мкм в гарячому ізостатичному пресі фірми QUINTUS. На сьогоднішній день на АТ «Мотор Січ» застосовуються катоди виготовлені методом вакуумно-індукційним переплавом, при використанні яких 20 % усіх лопаток бракуються по причині наявності неприпустимих дефектів покриття. Операція нанесення покриття в аналізованій робочій лопатці є майже фінішною. Забраковані по покриттю лопатки піддаються повному зняттю покриття механічним методом та повторному нанесенню покриття, що збільшує собівартість виготовлення деталі.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для споживачів
Підвищення якості нанесення жаростійких покриттів на робочих лопатках	1. Підвищення якості виготовлення витратного матеріалу, використовуваного у базовому виробництві	Зменшення долі браку
	2. Використання більш якісного витратного матеріалу, виготовлений методом відмінного від методу виготовлення базового витратного матеріалу	Зменшення долі браку

Характеристику потенційного ринку надано в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Попередня характеристика потенційного ринку

№	Показники стану ринку	Характеристика
1	Головні конкуренти	Заводи виробники авіадвигунів та комплектуючих для них (ГП «Івченко Прогрес», General Electric)
2	Динаміка ринку	Зростає
3	Наявність обмежень для входу	Необхідність капіталовкладень для створення матеріально-технічної бази
4	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Закупівля обладнання нанесення жаростійких покриттів, навчання персоналу

Характеристика потенційних клієнтів сформована в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Попередня характеристика потенційних клієнтів

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів
1.	Зменшення собівартості виготовлення та ремонту двигуна	Авіакомпанії; ремонтні заводи; заводи, що виготовляють та збирають літаки	Відсутні	Зменшення продажної вартості без втрати необхідної якості виробів
2.	Збільшення попиту на продукцію			Відповідна якість продукції

Таблиця 4.4 – SWOT - аналіз

Сильні сторони	Слабкі сторони
- Зменшення частки невикористаного браку - Висока якість отриманих виробів - Низька частка браку - Незалежність від зовнішніх надавачів послуг	- Висока вартість обладнання - Тривалий період впровадження обладнання - Необхідність в навчанні персоналу
Можливості	Загрози
- Можливість налагодити обладнання на випуск іншої продукції підприємства - Можливість зменшення собівартості двигуна та його зборку	- Недостатній попит на технологію - Підвищення цін на сировину

Розробка ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів представлено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Підприємства, які спеціалізуються на виготовленні, ремонті та збірці авіадвигунів	Висока потреба	Великий попит	Низька конкуренція	Середні труднощі
Цільові групи: АТ «Мотор Січ»					

Після аналізу ринку необхідно ідентифікувати стейкхолдерів, здійснити їх пріоритезацію та побудувати карту стейкхолдерів, яка дозволить візуалізувати картину взаємозв'язків стейкхолдерів.

Створення карти має відбуватись у 4 етапи:

- 1) ідентифікація – окреслення актуальних груп стейкхолдерів;
- 2) аналіз – дослідження впливу та інтересів стейкхолдерів;
- 3) візуалізація – візуальна ілюстрація взаємодії зі стейкхолдерами;
- 4) пріоритезація – вибір ключових стейкхолдерів, які найкраще відповідали б істотним питанням, визначеним на попередньому етапі.

З метою відображення взаємозв'язків стейкхолдерів на Kartі має бути виокремлено три концентричних області, в яких розміщено всіх зацікавлених осіб інноваційного проекту за можливостями впливу на них ініціатора проекту. Область внутрішніх стейкхолдерів – область повноважень/відповідальності ініціатора. Внутрішні зацікавлені сторони знаходяться в прямій підлеглих ініціатора, що дозволяє використовувати досить прості методи адміністрування проекту.



Рисунок 4.1 – Карта стейкхолдерів

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

4.1 Розрахунок собівартості та економічного ефекту

Визначення витрат на оплату праці з урахуванням балансу робочого часу одного працівника та визначення суми ЄСВ (див. табл.4.6, табл. 4.7).

Таблиця 4.6 – Склад, чисельність та фонд заробітної плати виробничих працівників

Категорії працівників	Наявна чисельність, осіб		розрядом виконуваних робіт, грн / годину	робочого часу, годин	виробничих витрат, грн	виробничих витрат, грн	виробничих витрат, грн	Річний фонд заробітної плати, грн.	виробничих витрат, грн
	за зміну	на добу							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Виробничі працівники, в тому числі: 1.Основні працівники: Оператор установки	2	2	110	1760	193600	25	48400	484000	106480

Продовження таблиці 4.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Разом виробничих працівників	2	2	-	-	-	-	48400	484000	106480

Таблиця 4.7 – Склад, чисельність та фонд заробітної плати адмінперсоналу

Посада	Кількість осіб	Посадовий оклад, грн	Преміальний відсоток до окладу, %	Сума премії, грн	Місячна заробітна плата, грн	Річний фонд оплати праці, грн	ЄСВ, грн
1	2	3	4	5	6	7	8
Майстер	1	22000	45	9900	31900	382800	84216
Технолог	1	20000	45	9000	29000	348000	76560
Разом управлінського персоналу	2	42000	-	18900	60900	730800	160776

Визначення матеріальних витрат (табл. 4.8) та вартості спожитих послуг (табл. 4.9).

Таблиця 4.8 – Розрахунок матеріальних витрат

Матеріальні витрати	Норматив у розрахунку на один. продук. (послуг)	Виробнича програма	Обсяг сировини	Ціна, грн	Сума витрат, грн
1	2	3	4	5	6
Кільця	0,008 кг	21120	168,96	105	17740,8

підкладні					
-----------	--	--	--	--	--

Продовження таблиці 4.9

Катод складу Ni- Cr-Al-Y, виготовленн ий методом металургії гранул	0,026 кг	21120	549,12 кг	13500	7413120
Разом	-	-	-	-	7430860,8

Таблиця 4.9 – Розрахунок вартості спожитих послуг

Вид послуг	Норматив у розрахунку на один. продук.	Виробнича програма	Обсяг послуг	Тарифи	Сума грн
1	2	3	4	5	6
Електропостачання	28,03	21120	592064 кВт·ч	3,7	2190636,8
Водопостачання	0,33 м³	21120	7040 м³	18,68	29656,4
Теплопостачання	0,24	21120	4970,6 м³	7,42	29820
Разом	-	-	-	-	2250113,2

Необхідно визначити річну суму амортизації з урахуванням первісної вартості основних засобів та норми амортизації, а також витрати на поточний ремонт у розмірі 2 % від балансової вартості основних засобів.

Таблиця 4.10 – Розрахунок амортизації

Група основних засобів	Нормативний строк експлуатації	Первісна вартість ОЗ на 01.01	Сума річних амортизаційних витрат, грн.
1	2	3	4
1.Виробничі будівлі	60	234000	4680
2. Споруди	50	46800	936
3. Обладнання	15	12324000	246480
4.Цінні інструменти, прилади, інвентар	15	2464800	49296
5.Транспортні засоби	10	246480	4929,6
Разом	-	4224480	306318,6

Таблиця 4.11 – Кошторис витрат при нанесенні покриття за новою технологією

Калькуляційні статті	Витрати	
	у розрахунку на одиницю продукції, грн.	у розрахунку на весь обсяг продукції, грн.
Сировина та матеріали	351,84	7430860,8
Електропостачання	103,72	2190636,8
Водопостачання	1,40	29656,4
Теплопостачання	1,412	29820
Разом	458,4	9680974
Заробітна плата основних виробничих працівників	$((1760/(21120/2)) \times 110 \times 1,25 = 22,917$	484007,4

ССВ	5,042	106481,6
-----	-------	----------

Продовження таблиці 4.11

Амортизація	14,5	306318,6
Витрати на утримання та експлуатацію основних засобів поточний ремонт	68,75	1452000
Загальновиробничі витрати	45,834	968014,08
Виробнича собівартість	615.426	12997795,68
Адміністративні витрати	22,91	484007.04
Повна собівартість	638,34	13481802,72

Витрати на утримання та експлуатацію основних засобів та поточний ремонт – 300 % фонду заробітної плати.

Загальновиробничі витрати - 200 % фонду заробітної плати.

Адміністративні витрати - 100 % фонду заробітної плати.

Таблиця 4.12 - Кошторис витрат нанесенні покриття за базовою технологією

Калькуляційні статті	Витрати	
	у розрахунку на одиницю продукції, грн.	у розрахунку на весь обсяг продукції, грн.
Сировина та матеріали	313,34	6617740,8
Електропостачання	103,72	2190636,8
Водопостачання	1,40	29656,4
Теплопостачання	1,412	29820
Разом	461,18	8867854
Заробітна плата основних виробничих працівників	$((1760/(21120/2)) \times$ $\times 110 \times 1,25 = 22,917$	484007,4

ССВ	5,042	106481,6
-----	-------	----------

Продовження таблиці 4.12

Амортизація	14,5	306318,6
Витрати на утримання та експлуатацію основних засобів поточний ремонт	68,75	1452000
Загальновиробничі витрати	45,834	968014,08
Виробнича собівартість	576,9	12184675,68
Адміністративні витрати	22,917	484007,04
Повна собівартість	599,84	12668682,68

Економічний ефект Е за розрахунковий рік, з урахуванням 20 % браку лопаток та повторному нанесенні покриття у базовій технології:

$$E = (CB_6 - CB_H) \cdot N = (599,84 \times 1,2 - 638,34) \times 21120 = 1720604,16 \text{ (грн.)}$$

Таблиця 4.13 - Розрахунок фінансового результату запропонованої технології

№ періоду	Обсяги виробництва (послуг)	Обсяги реалізації	Залишок нереалізованої продукції	Ціна	Дохід	Витрати	Фінансовий результат
1	21120	21114	6	1085	22912912	13481802	9431110,8
Разом					22912912	13481802	9431110,8

4.2 Висновки по розділу техніко-економічні розрахунку

Використання катоду виготовленого методом металургій гранул при нанесенні іонно-плазмового покриття на робочі лопаті турбіни газотурбінного авіаційного двигуна дозволяє зменшити собівартість виготовлення виробу, порівняно з базовою технологією. Зменшення собівартості досягається зниженням кількості деталей, який необхідно допрацьовувати за кошти виробництва.

Економічний ефект собівартості за рахунок підвищення якості нанесення покриття – 1 720 604 грн. за розрахунковий рік.

Фінансовий результат за рахунок підвищення якості нанесення покриття – 9 431 110 грн. за розрахунковий рік.

5 ОХОРОНА ПРОЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У розділі наведені основі заходи з охорони праці при підвищенні якості іонно-плазмових жаростійких покриттів з використанням дослідних катодів та подальшого дослідження катодів і нанесених покриттів.

5.1 Аналіз потенційних небезпек

а) незадовільна організація та підготовка робочого місця, що може бути пов'язано з недостатнім урахуванням вимог ергономіки, нераціональне розкрашуванням технологічного обладнання та захаращеність робочої зони.

б) можливість ураження електричним струмом при виконанні частини дослідних робіт на ділянці іонно-плазмового напилення, що може бути пов'язано з порушенням правил електробезпеки, не використання індивідуальних та групових заходів захисту, пошкодження захисного заземлення або відсутність надійних огорожень струмоведучих частин обладнання, що може привести до електричних травм або летальних наслідків;

в) небезпеки які пов'язані з безпосереднім нанесенням жаростійких покриттів методом іонно-плазмового осадження, а саме:

- знижений тиск (вакуум), що застосовується у технологічному процесі;
- наявність судин під тиском що може призвести до вибухів та великомасштабних руйнувань, у зв'язку з порушенням правил зберігання та експлуатації судин;

г) небезпеки, які пов'язані з підготовкою дослідних зразків, зокрема можливість отримання механічних травм при використанні відрізних кругів, шліфувально-полірувальних верстатів, унаслідок порушення правил з охорони праці, зокрема невикористання спеціального одягу, використання несправного обладнання та інструменту, захаращеність робочого місця;

д) небезпеки, які пов'язані з проведенням металографічних досліджень з використанням електронного та оптичного мікроскопу, а саме:

- можливість отримання хімічного опіку, що пов'язане з порушенням технології травлення дослідного матеріалу;
- можливість ушкодження органів зору при хибній комбінації світофільтрів, окуляр та об'єктивів;
- негативний вплив потужного електронного випромінювання на клітинному рівні, що може призвести до зниження імунітету та розвитку імунних захворювань.

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

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

ж) незадовільне освітлення виробничих зон на дільниці напилання та дослідницькому приміщенні, внаслідок виходу з ладу або забрудненості освітлювальних приладів, що може призвести до погіршення зору або механічних травм;

з) можливість загоряння дільниці напилання, внаслідок порушення правил пожежної безпеки, порушень технологічного процесу, порушень вимог що висуваються до зберігання легкозаймистих речовин, що може призвести до пожежі.

и) небезпеки, які пов'язані з умовами праці в надзвичайних ситуаціях, зокрема укриття населення у захисних спорудах цивільного захисту. Причинами пов'язаними з невірним або взагалі відсутнім укриттям населення в надзвичайних ситуаціях можуть бути недосвідченість персоналу або невірні дії керівництва, що може привести до важких травм, летальних наслідків та масштабних руйнувань.

5.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки

а) основним нормативним актом, що встановлює порядок та види навчання, а також форми перевірки знань з охорони праці є «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці - НПАОП 0.00-4.12-05 (Наказ Державного комітету України по контролю за охороною праці від 26.01.2005 № 15). Цей нормативний документ спрямований на реалізацію в Україні системи безперервного навчання з питань охорони праці, яка проводиться з працівниками в процесі трудової діяльності.

б) з метою виключення уражень електричним струмом в процесі експлуатації установки для іонно-плазмового напилення покриттів на ділянці обладнання повинно відповідати правилам ПУЕ-2017 «Правила улаштування електроустановок» де передбачено:

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

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

- розміщення обладнання установки для напилення, її вузлів та механізмів, а також органів керування повинно забезпечувати вільний, зручний та безпечний доступ до них. Окрім того, розташування органів керування

повинно забезпечувати можливість швидкого вимикання обладнання та зупинення всіх його механізмів;

До роботи на установці допускаються особи не молодше 18 років, які мають відповідну кваліфікацію групи з ПУЕ-2017.

в) з метою виключення уражень при роботі безпосередньо на установці іонно-плазмового напилення повинна розроблятися та конструюватися таким чином, щоб вона була досить стійкими у заздалегідь передбачених умовах експлуатації. Різні частини самої машини та механічні з'єднання повинні витримувати навантаження, яким вони піддаються при використанні за призначенням, визначеним виробником, «ДИРЕКТИВЕ 98/37/ЕЭС ЕВРОПАЛАМЕНТА И СОВЕТА ЕВРОПЫ ОТ 22 ИЮНЯ 1998 ГОДА»

г) для виключення отриманих механічних травм повинне бути передбачене проведення усіх необхідних інструктажів з охорони праці, згідно НПАОП 0.00-4.12.5 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці».

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

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

Отримання механічних травм найчастіше відбувається внаслідок захаращеності робочої ділянки та порушень правил експлуатації обладнання. У зв'язку з цим обов'язковим є щоденний контроль за станом робочої зони зі сторони керівництва відповідно ДСТУ 3273-95 «Безпечність промислових

підприємств. Загальні положення та вимоги». При роботі з абразивними колами категорично забороняється використовувати не за призначенням абразивні кола та інструмент, працювати без належного захисного одягу та обладнання, використовувати пошкоджені абразивні круги.

Заходи безпеки при роботі на шліфувальних і заточувальних верстатах:

- установка абразивних кіл на верстатах повинна проводитися тільки спеціально проінструктованими наладчиками;
- використання абразивних кіл з дефектами заборонено;
- абразивні кола повинні мати штамп або наклейку про випробування – порядковий номер кола і підпис особи, відповідальної за випробування;
- біля кожного верстата необхідно вивісити табличку із зазначенням допустимої роботи колової швидкості використовуваних кіл і частоти обертання шпинделя верстата в хвилину;
- при обертанні абразивного кола, виступаючі кінці шпинделя і кріпильні деталі захистити захисними кожухами;
- підручники повинні мати достатній за величиною майданчик для стійкого положення оброблюваного виробу. Зазор між краєм підручника і робочою поверхнею шліфувального круга повинен бути не більше 3 мм;
- заборонено працювати без підручника, захисного екрана або окулярів, якщо верстат не заземлений і не обладнаний установкою для відсмоктування абразивного пилу. ГОСТ 12.3.028–82 «Процесс обработки абразивными и эльборовым инструментом».

д) при визначенні типу структури використовується горизонтальний металографічний мікроскоп призначений для дослідження мікроструктури металів та інших не прозорих об'єктів в світловому полі при прямому і відбитому освітленні, а також в темному полі і в поляризованому світлі. Основними заходами при роботі є раціональна комбінації об'єктів, окулярів. При вживанні їх треба враховувати, тому що збільшення повинно знаходитися в межах від 500 до 1000 апертур. Обов'язковою вимогою є використання світофільтрів.

Для електронного мікроскопі при аварійній ситуації є першочерговим завданням охолодження печі дифузійного насоса і по можливості, збереження вакууму в системі. У всіх випадках слід спочатку відключити високу напругу, віч диф.насоса і вискнути головний автомат на стінці. При відмові водопостачання постаратися постаратися обмотати мокрим ганчірками диф. піч насоса і включити вентилятор для обдування [21]. Гарячі мокрі ганчірки слід міняти, поки вакуум в системі не почне падати. При прориві повітря в колону мікроскопа, як правило, спрацьовує автоматика, відсікаючи дифузійний насос від решти обсягу, і вимикається напруження катода і висока напруга. Треба тільки простежити, щоб форвакуумний насос не працював «на повітря», а переключити його на закритий обсяг, наприклад на відкачку боксу з фотопластинками.

Для попередження шкідливої дії іонізуючих випромінювань необхідно усувати всяку можливість опромінювання організму дозами, які перевищують гранично допустимі. Ступінь ураження радіоактивними речовинами організму людини залежить від ряду чинників: виду випромінювання (альфа-, бета-, гамма-промені і т. ін.); кількості ізотопу (активності); його властивостей (енергії частинок в період піврозпаду та ін.); шляхів попадання в організм людини та його індивідуальної чутливості. Для захисту від зовнішнього опромінювання, яке має місце при роботі із закритими джерелами випромінювання, основні зусилля необхідно направити на попередження переопромінення персоналу шляхом:

- збільшення відстані між джерелом випромінювання і людиною (захист відстанню);
- скорочення тривалості роботи в зоні випромінювання (захист часом);
- екранування джерела випромінювання (захист екранами).

Для виключення хімічних опіків у процесі травлення металів дослідник повинен бути забезпечений спеціальним одягом та індивідуальними захисними засобами відповідно до ГОСТ 12.4.103-83 «Одежда специальная защитная, средства индивидуальной защиты рук и ног. Классификация».

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

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

При роботі за комп'ютером шкідливими чинниками є:

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

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

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

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

Приміщення, де знаходиться комп'ютери відноситься до пожежонебезпечного приміщення категорії «Б», тому необхідно мати вуглекислотний вогнегасник типу ВВК-5 і вміти ним користуватися. Звернути увагу на заземлення, тому що в комп'ютері використовуються мікросхеми ізоляції всіх кабелів та роз'ємів, щоб не виявити несподівано під напругою щодо землі. Забороняється робота з комп'ютером і його периферійними пристроями з відкритим корпусом, самостійно перемикає силові та інтерфейсні кабелі, проливати рідини і т.д. Робоче місце працюючого на комп'ютері передбачено обладнати спеціальними меблями: обертовим стільцем із змінною висотою сидіння і кута нахилу спинки. При роботі на комп'ютері працюючий повинен бути уважним, не відволікатися на побудові справи.

Під час роботи комп'ютера забороняється:

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

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

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

5.3 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 ДСТУ 12.4.021-75 «Система стандартів безпеки труда. Системы вентиляционные. Общие требования», а також пристрої системи водяного або парового опалення згідно СНиП 2.04.05-91 «Строительные нормы. Отопление, вентиляция и кондиционирование», враховувалися вимоги згідно ГОСТ 12.1.005-88 «Система стандартів безпеки труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» і СН 245-71 «Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий», що забезпечує оптимальні параметри, які вказані в таблиці 5.1.

Таблица 5.1 – Метеорологічні умови в приміщенні ділянки

Період року	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м / с
-------------	-----------------	-----------------------	-------------------------------

Холодний	18 - 22	40 - 60	0,1 - 0,3
Теплий	20 - 23	40 - 60	0,1 - 0,4

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». Освітленість проходів і частин приміщення, де роботи не проводяться, повинна 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 накаливання.

а) Вибір системи освітлення. За розряду зорової роботи IIIa вибираємо загальне освітлення з освітленістю 400 лк. У темному кольорі фону і малому контрасті об'єкта з фоном;

б) Визначення рівня нормованої освітленості $E_n = 400$ лк;

в) Джерелом світла вибираємо;

г) Вибір типу світильників - ЛВП, $IP = 00$, $L / h = 1,3$;

д) Оцінка коефіцієнта запасу і коефіцієнта нерівномірності освітлення:

$k_z = 1,5$; $z = 1,1$ – для люмінісцентних ламп низького тиску;

е) Розрахуємо кількості рядів світильників в приміщенні:

$$N_p = \frac{B}{(H - h_p) \cdot \left(\frac{L}{h}\right)} = \frac{12}{(4,5 - 1) \times 1,3} = 2,63 \approx 3, \quad (5.1)$$

- де
- $(L \div h)$ – числове значення коефіцієнта світильника.
 - B – ширина приміщення, м;
 - H – висота виробничого приміщення, м;
 - h_p – висота робочої поверхні над підлогою, м.

Визначаємо максимальну припустиму відстань між рядами світильників:

$$L_{max} = \frac{B}{N_p} = \frac{12}{3} = 4 \text{ м.} \quad (5.2)$$

Розраховуємо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = \frac{L_{max}}{L / h} = \frac{4}{1,3} = 3,07 \text{ м.} \quad (5.3)$$

Знаходимо висоту схилу світильника від стелі:

$$h_3 = H - h_p - h = 4,5 - 1 - 0,1 = 3,4 \text{ м,} \quad (5.4)$$

- де - h_3 – висота звису світильника від стелі, м.

Чисельне значення індексу приміщення визначають за рівнянням:

$$i = \frac{A \cdot B}{h_3 \cdot (A + B)} = \frac{12 \times 12}{0,1 \times (12 + 12)} = 60, \quad (5.5)$$

- де
- A - довжина приміщення, м;
 - h_3 - висота звису світильника від стелі, м.

Визначаємо сумарний світловий потік освітлювальної установки:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_H \cdot S \cdot k_3 \cdot z}{\eta} = \frac{400 \times 15,3 \times 5,78 \times 1,5 \times 1,1}{3,5} = 27154,28 \text{ лм}, \quad (5.6)$$

де - S – площа освітлюваної поверхні, м^2 ;

- η – коефіцієнт використання світлового потоку.

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

$$N^* = \frac{A \cdot B}{L_{max}^2} = \frac{12 \times 12}{4^2} = 9 \text{ шт.} \quad (5.7)$$

Розраховуємо світловий потік умовного джерела світла:

$$\Phi_L^* = \frac{\Phi_{\Sigma}}{N_L} = \frac{27154}{18} = 1508,5 \text{ лм}, \quad (5.8)$$

де - N_L – загальна кількість ламп в приміщенні, шт:

$$N_L = N^* \cdot n = 9 \times 2 = 18 \text{ шт.}, \quad (5.9)$$

де - n – кількість ламп у світильнику.

Визначаємо коефіцієнт m - співвідношення між розрахунковим світловим потоком Φ_L^* та фактичним світловим потоком обраної стандартної лампи Φ_L :

$$m = \frac{\Phi_L^*}{\Phi_L} = \frac{1508,5}{1800} = 0,8. \quad (5.10)$$

Визначаємо оптимальну кількість світильників в приміщенні:

$$N_{св} = N^* \cdot m = 9 \times 0,8 = 7,2 \approx 9. \quad (5.11)$$

Визначити фактичну кількість ламп у приміщенні N_L :

$$N_{\text{л}} = N_{\text{св}} \cdot n = 9 \times 2 = 18. \quad (5.12)$$

Визначити загальну розрахункову освітленість $E_{\text{р}}$ у приміщенні, що створюється при застосуванні стандартних ламп:

$$E_{\text{р}} = \frac{\Phi_{\text{л}} \cdot N_{\text{л}} \cdot \eta}{A \cdot B \cdot k_3 \cdot z} = \frac{1800 \times 18 \times 3,5}{12 \times 12 \times 1,5 \times 1,1} = 477,2 \text{ лк}, \quad (5.13)$$

- де
- $\Phi_{\text{л}}$ – фактичний світловий потік вибраної стандартної лампи, лм;
 - $N_{\text{л}}$ – фактична кількість ламп у приміщенні, шт;
 - η – коефіцієнт використання світлового потоку;
 - A – довжина приміщення, м;
 - B – ширина приміщення, м;
 - k_3 – коефіцієнт запасу;
 - z – коефіцієнт нерівномірності (мінімальної) освітленості.

Розрахувати загальну потужність освітлювальної установки P_{Σ} :

$$P_{\Sigma} = N_{\text{л}} \cdot P_{\text{л}} = 18 \cdot 30 = 540 \text{ Вт}, \quad (5.14)$$

- де
- $N_{\text{л}}$ - фактична кількість ламп у приміщенні, шт;
 - $P_{\text{л}}$ - потужність вибраної стандартної лампи, Вт.

Ескіз розташування світильників на плані приміщення, враховуючи розмір світильників (рис. 5.1, 5.2).

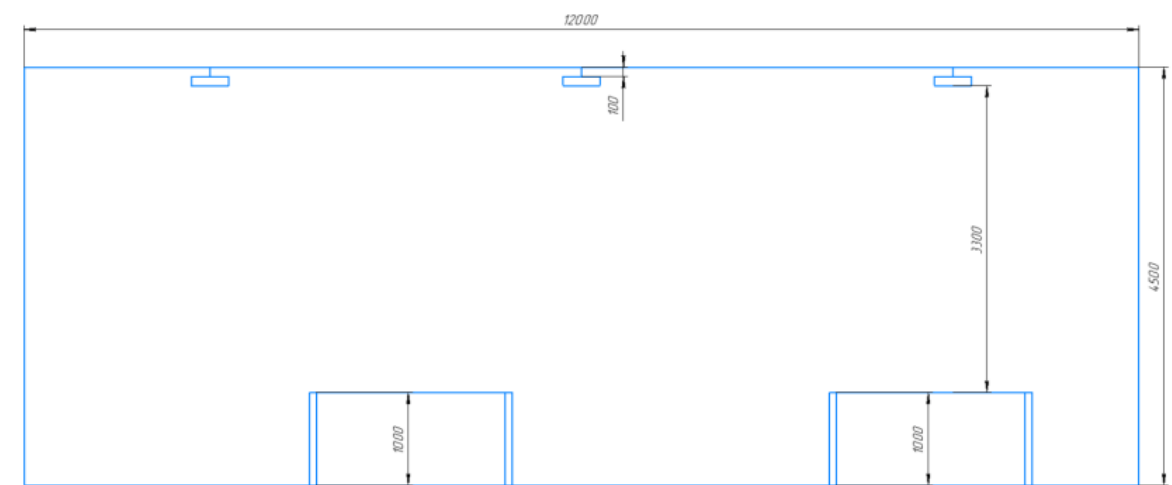


Рисунок 5.1 - Схема розміщення світильників над робочою поверхнею

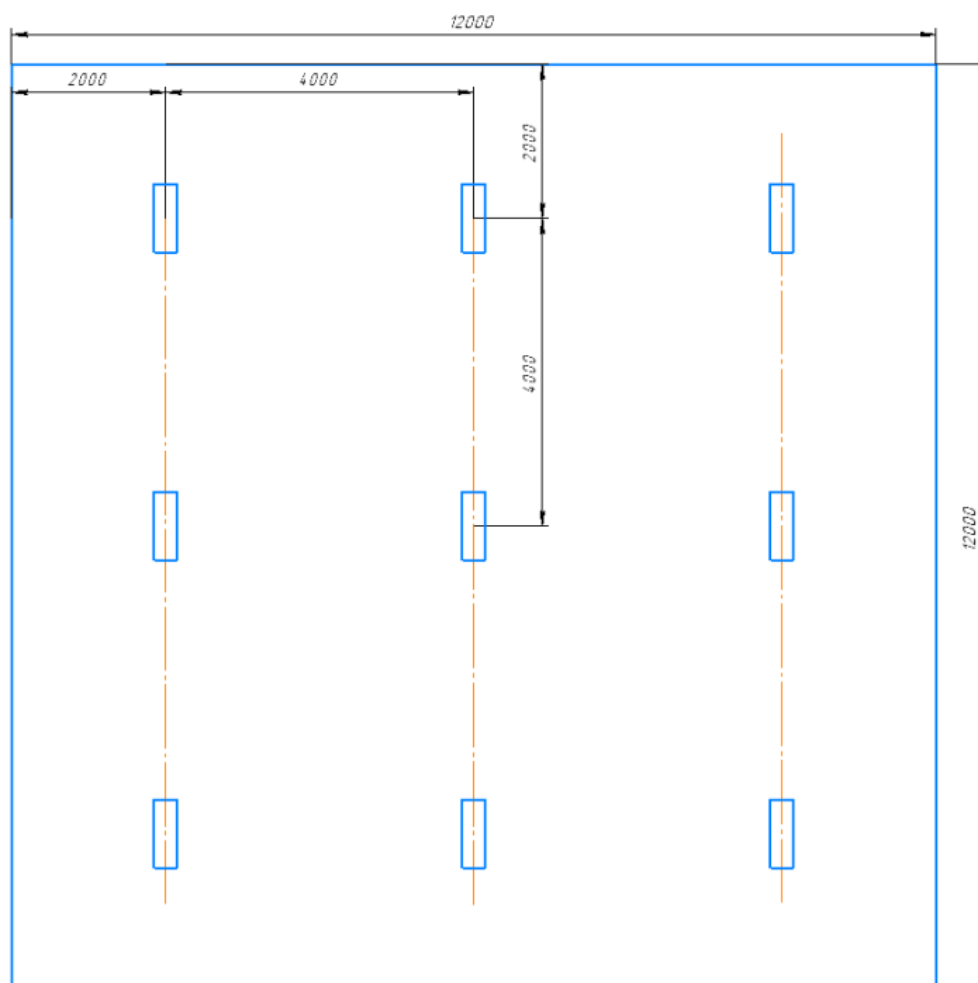


Рисунок 5.2 - Схема розміщення світильників на ділянці

5.4 Заходи з пожежної безпеки

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

Для попередження пожежі персонал дільниці повинен виконувати наступні правила:

- проходити регулярні інструктажі пожежно-технічного мінімуму та правилам безпечної роботи;
- суворо дотримуватися правил пожежної безпеки, чистоти та порядку на робочому місці;
- правильно експлуатувати бензиномийку та інше обладнання;
- слідкувати за справністю системи електроживлення;
- не загороджувати проїзди та проходи, а також підступи до засобів пожежогасіння;
- забороняється користуватися відкритим вогнем;
- паління дозволяється лише у спеціально відведених місцях.

Сусідні приміщенні від місця, де виконується промивка деталей у бензині, мають бути оснащені вуглекислотними вогнегасниками типу ВВК-5, ящиками з піском, лопатами та совками, бочками чи відрами з водою. Дерев'яні конструкції, розташовані ближче 5 м від дільниці бензинової промивки, обштукатурюють або оббивають листовим азбестом чи листовою сталлю по повсті, змоченій в глинистому розчині.

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

5.5 Заходи по забезпеченню безпеки в умовах надзвичайних ситуацій

и) заходи, які пов'язані з небезпекою роботи в умовах надзвичайних ситуацій

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Склад і дії при ліквідації наслідків землетрусів визначаються характером і обсягом руйнувань. Успіх багато в чому залежить від повноти і своєчасності одержання розвідувальних даних. Розвідка повинна установити характер руйнувань будівель і споруд, місцезнаходження і стан постраждалого населення, яке опинилося під завалами чи в частково зруйнованих будівлях і спорудах, ступінь пошкодження комунально-енергетичних мереж, визначити

зони суцільних пожеж, можливість їх розвитку, а також розвідати шляхи підходу до об'єктів робіт. Ведеться вона розвідувальними підрозділами військових частин ЦО і розвідувальними формуваннями різного призначення, при цьому використовується інформація від органів МВС й інших відомств. Для визначення санітарно-епідемічного стану району землетрусу, виявлення кількості і стану потерпілих, установлення можливості розгортання медичних формувань і визначення потрібної кількості медичних сил проводиться медична розвідка.

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

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

ВИСНОВКИ

В дипломній роботі удосконалена технологія нанесення жаростійкого іонно-плазмового покриття на робочі лопатки турбіни газотурбінного авіаційного двигуна АИ-222 та його модиф., з урахуванням недоліків базової технології нанесення покриття.

Недоліком базової технології є утворення дефектів покриття у процесі нанесення, близько 20 % робочих лопаток, від загальної кількості, необхідно доопрацьовувати. Дефекти покриття мають хаотичний розподіл по поверхні лопатки, що виключає наявність порушення технології підготовки лопаток до нанесення покриття або несправність обладнання. Після одного циклу нанесення покриття на поверхні базового матеріалу, що витрачається (катода) утворюються поверхневі дефекти, природою виникнення яких є погана розчинність ітрію в процесі виготовлення.

В результаті проведення роботи:

1. Проаналізовано причину виникнення дефектів покриття;
2. Проведено аналіз існуючих методів виготовлення катодів. Запропоновано використовувати катод виготовлений методом металургії гранул;
3. Проведено дослідження покриття нанесеного з використанням гранульного катоду, покриття відповідає всім вимогам;
4. Спроектвана діляниця нанесення іонно-плазмового покриття;
5. Проведено техніко – економічне обґрунтування дипломного проекту. Удосконалена технологія нанесення жаростійкого покриття є економічно вигідною, оскільки повна собівартість виробу в цьому випадку на 12,76 % у порівнянні з собівартістю у базовій технології.
6. Розроблено технологічний процес нанесення іонно-плазмового покриття на робочі лопатки турбіни газотурбінного авіаційного двигуна АИ-222 та його модиф.

В дипломній роботі передбачені заходи по охороні праці для забезпечення безпеки робітників в процесі нанесення жаростійких іонно-плазмових покриттів за розробленою технологією.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. **Каблов, Е. Н.** Литейные жаропрочные сплавы для перспективных авиационных ГТД [Текст] / Е. Н. Каблов, Н. В. Петрушин, И. Л. Светлов, И. М. Демонис // Технология легких сплавов. - 2007. - №2. - С. 6 - 16.
2. **Каблов, Е.Н.** Литые лопатки газотурбинных двигателей: сплавы, технологии [Текст] / Е. Н. Каблов ; - М. : Наука, - 2006. - 632 с.
3. **Мубояджян, С. А.** Ионно-плазменные защитные покрытия для лопаток газотурбинных двигателей [Текст] / С. А. Мубояджян, Е. Н. Каблов, С. А. Будиновский, Я. А. Помелов // Конверсия в машиностроении. - 1999. - №2. - С. 72 - 76.
4. **Мубояджян, С. А.,** Промышленная установка МАП-1 для нанесения защитных покрытий различного назначения [Текст] / С. А. Мубояджян, С. А. Будиновский. // Авиационная промышленность. - 1995. № 7 - 8. - С. 44 - 48.
5. **Ефанов, В. С.,** Влияние технологии изготовления катодов на качество покрытий лопаток турбины / В. С. Ефанов, Клочихин В. В., Педаш А. А., Шило В. Г. // Вестник двигателестроения. - 2018. - №1. - С. 132 - 137.
6. **Патон, Б. Е.** Электронно-лучевая плавка тугоплавких и высокореакционных металлов [Текст] / Б. Е. Патон, Н. П. Тригуб, С. В. Анохин ; - К. : Наукова думка, - 2008. - 312 с.
7. **Готвянский, Ю.Я.** Электронно-променевий переплав: можливості і перспективи розвитку [Текст] / Ю. Я. Готвянский, Н. М. Рокожиця // Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра: Збірник праць співробітників і студентів кафедри «Фізико-хімічні основи технології металів». – Київ.: ІВЦ „Видавництво «Політехніка»”, - 2009. - С. 54 - 58.
8. **Бородулин, Г.М.** Нержавеющая сталь [Текст] / Г. М. Бородулин, Е. И. Мошкевич. ; М.: Металлургия, - 1973. - 319 с.

9. Yefanov V.S., Klochykhyn V.V., Skrebtsov A.A., Petryk I.A., Pedash O.O. Investigation of the Influence of Technology of Production of Cathodes on the Quality of Condensation Heat-Resistant Coatings. *Materials Science*. - 2020. - № 55, P. 609 - 615.
10. **Береснев, А.Г.**, Проблемы повышения качества жаропрочных сплавов, получаемых методом металлургии гранул [Текст] / А.Г Береснев, А.В. Логунов, А.И. Логачева // Вестник МАИ. - 2008. - Т. 15. - №3. - С. 83 - 89.
11. **Терновой, Ю.Ф.** Получение микрогранул сферической формы без сателлитов при диспергировании металлических расплавов инертным газом [Текст] / Ю.Ф Терновой // Металургія. - № 2. - 2018. - С. 28-32.
12. **Ямпольский, А.М.** Травление металлов [Текст] / А.М Ямпольский; М. -Л. : Машиностроение, - 1964. - 112 с.
13. **Беккерт, М.** Способы металлографического травления [Текст]: справочное издание. / Беккерт М., Клемм Х.; М. : Металлургия, - 1988. - 400 с.
14. **ДСТУ 12706** Якість продукції. Неруйнівний контроль. Капілярні методи [Текст]; К. : Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості, - 2016. - 12 с.
15. **ДСТУ EN571-1-2001** Неруйнівний. Капілярної методи. Загальні вимоги [Текст]; К. : Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості, - 2001. - 7 с.
16. Гарибов, Г. С., Гриц Н.М., Добаткин В.И. Металлургия гранул жаропрочных никелевых сплавов [Текст] / Г. С. Гарибов, Н. М. Гриц, В. И. Добаткин // Технология легких сплавов. - 2015. - №2. - С. 34 - 39.
17. Pedash O., Yefanov V., Klochikhin V., Prokopenko O., Shylo V. Application of the Powder Metallurgy Process in Production of Cathodes for Deposition of High-temperature Thermal-barrier Coatings (TBCs) on Gas Turbine Blades. *World Congress on Powder Metallurgy*. (Beijing, China, 16 - 20 Sept. 2018). 2018. 1888 - 1892 pp.

18. **Скибин, В. А.**, Работы ведущих авиадвигателестроительных компаний по созданию перспективных авиационных двигателей [Текст] / В.А. Скибин, В. И. Солонин, В. А. Палкин; М. : ЦИАМ, - 2004. - 424 с.

19. **Абраимов, Н.В.** Высокотемпературные материалы и покрытия для газовых турбин [Текст] / Н. В. Абраимов; М. : Машиностроение, - 1993. - 336 с.

20. **Каблов, Е.Н.** Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года [Текст] : Сб.научн. трудов. / Авиационные материалы и технологии: Юбилейный научн.-техн. сб.. - М. : ВИАМ, - 2012. - 475 с.

21. **Фомин, Н.И.**, Электрические печи и установки индукционного нагрева [Текст] / Н.И. Фомин, Л. М. Затуловский ; - М. : Metallurgy, - 1979. - 247 с.

[illegible]

[illegible]

[illegible]