

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

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

Обладнання та технології зварювального виробництва
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему Розробка технологій введення НД до складу
катодів для нанесення спеціальних покриттів
на деталі газотурбінних двигунів

Виконав: студент(ка) _____ курсу, групи 143-419M

Спеціальності 131 „Ринок механіка“
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Вироблення та первинний зносостійкий
деталей і конструкцій
(прізвище та ініціали)

Керівник Лалтева Г. М.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Скребцов А. А.
(прізвище та ініціали)

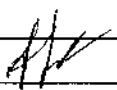
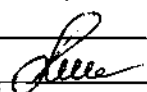
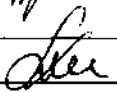
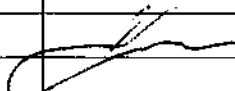
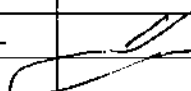
ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри Овчаренко В.О.
СВ
«18» » 12 2020 року

Мозуренко Дмитро Жарович
(прізвище (ім'я по батькові))

Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно зробити): Розділ 1. Аналіз вихідних даних, формулювання завдань на проведення досліджень зварювальних процесів; Розділ 2. Розробка методик дослідження, проведення експериментів; Розділ 3. Результати роботи з нормотуванням хімічного складу катодів; Розділ 4. Тіпико - експліцитний розрахунок різниці; Розділ 5. Оцінка праці та безпеки унаслідок ситуацій.

Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) аналізу катодів на нікелевій основі для катодних покриттів; Аналіз прикладів виконання електродів; Узагальнення результатів досліджень в сфері електроніки; Аналіз роботи ПЗ (узагальнення креслень, розробка); Технологія складання зварки; Технологія підготовки електроду; Хімічний склад зварки; Результати рентгеноструктурного аналізу зварки; Порівняльний аналіз об'єктів.

Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконав завдан
Інженерно-технічний розділ	Лантєва Г.М., доцент		
Економічний розділ	Кругликова В.В., доцент		
Розділ охорони праці та безпеки	Нестеров О.В., зав. кафедр		

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

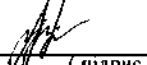
№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Прям.
1	Актуальність теми дипломного проекту	05.09.20	Вик.
2	Аналіз вихідних даних і технічне завдання на проект	15.09.20	Вик.
3	Технічні умови теплової технології зварювання спеціальних покриттів на деталі	10.10.20	Вик.
4	Дослідження альтернативної технології зварювання Н-з до складу катодів при нанесенні спеціальних покриттів на деталі глибокоурублених з'єдинів	07.11.20	Вик.
5	Розділ охорони праці та безпеки, НС	18.11.20	Вик.
6	Економічний розділ	25.11.20	Вик.
7	Оформлення звіту та графічної частини	2.12.20	Вик.
8	Нормоконтроль і рецензія проекту	14.12.20	Вик.

Студент(ка)


(підпис)

Морчунко Є.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)


(підпис)

Лантєва Г.М.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 102 с., 16 рис., 17 табл., 28 посилань.

КАТОД, ШИХТА, ЛЕГУЮЧИЙ ЕЛЕМЕНТ, НІКЕЛЕВИЙ СПЛАВ, ПЛАВКА, ЗЛИТОК, МЕТОД ЗВАРЮВАННЯ, СТРУКТУРА, ЗАХИСНА АТМОСФЕРА, ДЕФЕКТИ, МОДИФІКУВАННЯ.

Об'єкт дослідження – катоди, що розпилюються, та вплив способу введення Hf на їх властивості.

Мета проекту – удосконалення технологічних режимів виплавки катодів, що розпилюються, на основі нікелю системи Ni-Cr-Al-Hf з метою підвищення їх якості, а саме – зменшення загальної кількості дефектів у вигляді несплошностей, пор, непроплавів і підвищення гомогенності структури і хімічного складу тавикористання у якості захисної атмосфери інертних газів, найбільш розповсюдженими з яких є гелій та аргон.

Встановлено, що використання вакуумно-дугового переплаву для отримання сплавів на основі нікелю з використанням прийомів приготування шихти і уточненням параметрів технологічного процесу плавки дозволяють отримувати злитки з мінімальною кількістю характерних дефектів, з утворенням однорідної структури і з рівномірним розподілом легуючих елементів у всьому обсязі сплаву.

Встановлено закономірності впливу технологічних параметрів підготовки шихти і процесу плавки на структуру і властивості жароміцних сплавів на нікелевій основі.

Практичне використання отриманих результатів дозволить значно підвищити гомогенність і однорідність злитків при виробництві катодів для нанесення покриттів, що, в свою чергу, позитивно позначиться на якості нанесених покриттів і загальному ресурсі деталей.

ABSTRACT

Explanatory note: 102 pages., 16 figure, 17 tables, 28 sources.

CATHODE, MIXTURE, ALLOY ELEMENT, NICKEL ALLOY, MELT, INgot, METHOD OF WELDING, STRUCTURE, INERT GAS, PROTECTION ATMOSPHERE, DEFECTS, MODIFICATIONS

The object of the study is spray cathodes and the influence of shielding gases on the cathode fusion to improve their quality.

The aim of the project is to improve the technological regimes of smelting cathode-based nickel Ni-Cr-Al-Hf nickel systems to improve their quality, namely to reduce the total number of defects in the form of imperfections, pores, non-melts and increase the homogeneity of structure and chemical composition. and the use as inert atmosphere of inert gases, the most common of which are helium and argon.

It is established that the use of vacuum-arc remelting for the production of nickel-based alloys using the methods of charge preparation and refining the parameters of the smelting process allow to obtain ingots with a minimum number of characteristic defects, with the formation of a homogeneous structure and with a uniform distribution of alloying elements in the alloy.

The regularities of influence of technological parameters of charge preparation and melting process on the structure and properties of nickel-based heat-resistant alloys have been established.

The practical use of the obtained results will significantly increase the homogeneity and homogeneity of ingots in the production of cathodes for coating, which, in turn, will have a positive effect on the quality of the applied coatings and the overall resource of the parts.

ЗМІСТ

Перелік скорочень, умовних позначок, одиниць і термінів	8
Вступ.....	9
1 Аналіз вихідних даних і формулювання завдання на проведення досліджень зварювальних процесів.....	11
1.1 Аналіз жароміцних сплавів і покриттів на нікелевій основі, що застосовуються для виготовлення деталей, що зношуються в високотемпературному газовому потоці.....	11
1.2 Зварювання конструкційних сталей в суміші захисних газів на основі аргону.....	13
1.3 Технології та методи виготовлення заготовок для катодів.....	21
1.3.1 Вакуумно-дуговий переплав.....	21
1.3.2 Лиття в кокіль. Сутність процесу.....	25
1.3.3 Сутність TIG процесу.....	30
1.3.4 Установка електрошлакового переплаву.....	33
1.4 Проблеми при виготовленні катодів на нікелевій основі.....	42
1.5 Підвищення продуктивності зварювання в захисних газах за рахунок активації дуги.....	44
1.6 Постановка завдання.....	49
2 Розробка методики дослідження і проведення експериментів.....	51
2.1 Аналіз літературних даних.....	51
2.2 Мета і завдання дослідження	53
2.3 Матеріали і методи дослідження	53
3 Результати роботи з модифікування хімічного складу катодів	57
3.1 Дослідження структури і хімічного складу дослідних катодів	57
3.2 Дослідження покриттів, які були нанесені за допомогою дослідних катодів.....	61
3.3 Аналіз результатів металлографічних досліджень.....	68

4 Техніко-економічний розрахунок ділянки.....	69
4.1 Характеристика ринку жаростійких матеріалів у зварюванні.....	69
4.2 Обґрунтування наукових досліджень.....	71
5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	81
5.1 Аналіз потенційних небезпек.....	81
5.2 Заходи по забезпеченню безпеки	83
5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці.....	88
5.4 Заходи з пожежної безпеки.....	95
5.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	96
Висновки.....	98
Перелік джерел посилання.....	99

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАК, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ

ПМ – порошкова металургія

ВДП – вакуумно дуговий переплав

ГТД –газотурбінні двигуни

КВМ – коефіцієнт використання металу

ЕШЗ – електрошлакове зварювання

CVD –метод хімічного осадження

ІДЗ – імпульсно-дуговий процес зварювання

TIG – метод зварювання з використанням тугоплавкого електроду з вольфраму

ВДГП – вакуумно дугові гарнісажні печі

ДЗВ – дифузійне зварювання в вакуумі

ВСТУП

Проблеми забезпечення надійності, довговічності і ресурсу роботи газових турбін є найбільш складними серед численних проблем, що виникають на шляху розвитку сучасного авіаційного двигунобудування.

У ряді випадків на відповідальні деталі, що працюють в умовах високотемпературної корозії, наносять покриття з нікелевого сплаву, підвищуючи тим самим їх ресурс працездатності в кілька разів [1] –[3].

Нікелеві сплави отримали широке застосування в машинобудування завдяки здатності нікелю утворювати тверді розчини з багатьма металами, високої корозійної стійкості в газових і рідких середовищах, відсутності аллотропических перетворень [4]–[6]. Так само слід зазначити, що властивості нікелевих сплавів значною мірою залежать від технології їх виготовлення [7]–[10].

До найбільш ефективних і поширених жаростійких покриттів відносяться покриття на основі алюмінідів нікелю, високі захисні властивості яких забезпечуються їх здатністю окислюватися з утворенням плівки Al_2O_3 . Довговічність таких покриттів лімітується вмістом алюмінію в поверхневому шарі, а також наявністю стабілізуючих модифікаторів, які забезпечують стабілізацію його змісту на рівні, необхідному для формування плівки Al_2O_3 [5] – [6].

Найбільш широке поширення при виготовленні заготовок з нікелевих сплавів має метод традиційного лиття в кокіль. При цьому існує висока ймовірність утворення характерних для даної технології внутрішніх дефектів, таких як пори, рихлоти, ліквацийні явища, і як наслідок, суттєво знижується якість одержуваних заготовок.

Другим за черговістю, але не менш поширений метод виготовлення нікелевих сплавів є порошкова металургія (ПМ). Технологічна схема при

виготовленні виробів методами ПМ включає операції підготовки шихтових матеріалів, їх компактування і подальше спікання. Якість таких заготовок в більшості випадків залежить від якості вихідної сировини - порошоків і підготовки шихти, що вимагає великих економічних витрат. Ще однією проблемою є складність отримання однорідної структури заявленого сплаву. Тому доцільно розглянути інші технології і методи виготовлення цих сплавів, таких як вакуумно дуговий переплав (ВДП), електрошлакове зварювання (ЕШЗ), зварювання методами TIG процесів.

Аналіз літературних даних [7], [9] – [13] показує, що дугова зварка в захисних газах домінує серед інших способів зварювання плавленням, причому, зберігається тенденція заміни ручного зварювання штучними електродами механізованими способами. З цієї точки зору перспективними галузями, де освоюються нові види металлоємкої продукції і очікуються пов'язані з цим інвестиції, є автомобільна, авіаційна промисловість, швидкісний залізничний транспорт і, в меншій мірі, суднобудування.

1 АНАЛІЗ ВИХІДНИХ ДАНИХ І ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАВДАННЯ НА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗВАРЮВАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ

1.1 Аналіз жароміцних сплавів і покриттів на нікелевої основі, що застосовуються для виготовлення деталей, що зношуються в високотемпературному газовому потоці

Проблема довговічності деталей газотурбінних двигунів, що працюють в умовах впливу високотемпературного газового потоку, є однією з найважливіших в машинобудуванні. Особливої гостроти ця проблема набуває при створенні сучасних авіаційних двигунів, для яких основними ознаками є збільшення температури газів перед турбіною. Якщо в перших газотурбінних двигунах (ГТД) робочі температури матеріалу становили від 600°C до 900°C , то в подальшому значно підвищилися, досягнувши в даний час 1700°C і більше, зменшення маси конструкції, збільшення ступеня стиснення повітря в компресорі. Збільшення параметрів двигуна неминуче веде до зростання навантажень на деталі і вузли, ускладнення конструкцій і вишукування нових технологій забезпечення тривалої працездатності ГТД [2].

Зростання термомеханічної напруженості деталей камери згоряння, турбіни і сопла є основною причиною малих ресурсів високотемпературних двигунів. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває проблема розробки нових жаростійких і жароміцних сплавів, надійних методів захисту від газової корозії, зменшення маси елементів конструкції.

Конструктивні рішення, які закладаються в авіадвигуни нових поколінь, як правило, знаходяться за межами технологічних і матеріалознавчих можливостей. Тому особливої гостроти набуває необхідність розробки нових матеріалів і технологічних процесів, які повинні володіти підвищеними характеристиками жароміцності, жаростійкості, опору термічної втоми [3] – [6].

Правильний науковий підхід до даної проблеми неминуче веде до того, що вирішуються як приватні поточні питання, так і з'ясовуються перспективи

подальшого розвитку.

Для виготовлення деталей, що працюють при високих температурах, найбільш широке застосування знайшли жароміцні і жаростійкі нікелеві сплави, які дозволяють успішно експлуатувати авіадвигуни при температурі на металі до 1100°C і короткочасно до 1150°C. При більш високих температурах рекомендуються сплави на основі металевих з'єднань Ni_3Al і $NiAl$ [6].

На частку нікелевих сплавів в авіадвигунобудуванні припадає не менше 70% маси конструкцій ГТД. Властивості сплавів забезпечуються введенням легуючих елементів, технологією лиття деталей, штампування і оптимізацією режимів термічної обробки. Легування здійснюється з метою як безпосереднього зміцнення γ -твердого розчину, так і виділення упрочнюючої γ -фази, шляхом твердіння. Сучасні нікелеві сплави легують хромом, кобальтом, алюмінієм, титаном, ніобієм, гафнію, вольфрамом, ренієм, рутенієм, танталом, вводять рідкоземельні метали (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 –Хімічний склад сплавів на нікелевій основі,% мас.

Марка сплава	C	Cr	Co	W	Mo	Ti	Al	Nb	Hf	Re	Ta	B	Zr	V
ЖС26	0,15	5	9	10	2,5	3	5,5	1,6	-	-	-	0,02	-	1,0
ЖС26У	0,15	5	9	12	W+ Mo	Al+ Ti	7,1	1,4	0,1	-	-	0,02	-	-
ЖС32	0,15	5	9,3	10	3,0	-	5,0	1,5	-	4,0	4,0	0,02	-	-
ВЖЛ12У	0,18	10	14	1,5	3,1	4,5	6,2	0,8	-	-	-	0,02	0,02	0,8
ХН60ВТ	$\leq 0,1$	25	-	15	-	0,6	$\leq 0,5$	-	-	-	-	-	-	-
ХН50ВМТЮБ	$\leq 0,1$	33	-	4,8	2,8	0,8	0,8	0,8	-	-	-	-	-	-

Титан і алюміній входять в зміцнюючу γ -фазу $Ni_3(Al, Ti)$, яка зміцнює більш ефективно, ніж Ni_3Al . Титан зменшує коагуляцію γ -фази, підвищує термостабільність сплавів, частково входить у з'єднання з вуглецем і утворює

карбід TiC , так само як і ніобій, гафній. Ванадій, ніобій, титан надають несприятливий вплив на жаростійкість сплавів, тому в ряді сплавів їх зміст мінімізують або виключають. Хром вводять, перш за все, для підвищення жаростійкості. Однак в сучасних сплавах вміст хрому знизили від 4 до 6 % для підвищення температури солідусу.

Тантал, вольфрам, реній, рутеній вводять для підвищення жароміцності. У сплаві ВЖ98 вміст алюмінію і титану незначно і γ -фаза не утворюється. В загальній структурі сплаву являє однорідний γ -твердий розчин, зміцнений хромом і вольфрамом. Це забезпечує високу технологічність, але недостатню жароміцність.

Незначна кількість карбідів Me_3C , $Me_{23}C_6$ і $\alpha-W$ в структурі сплаву не робить помітного впливу на механічні і технологічні властивості. Жароміцність сплаву ХН60ВТ можна помітно підвищити шляхом високотемпературного азотування. Зі збільшенням ступеня азотування шляхом збільшення температури і тривалості процесу, відповідно, від 1000 °C до 1200 °C і часу від 5 годин до 15 годин, міцність при температурі 1100°C зростає майже вдвічі, проте, одночасно майже вдвічі знижується пластичність.

Основне зміцнення сплаву досягається створенням дисперсних частинок нітридів титану і збільшенням вмісту азоту в γ -твердому розчині.

1.2 Зварювання конструкційних сталей в суміші захисних газів на основі аргону

Аргон є найбільш широко використовуваним компонентом захисних газових сумішей переважно при зварюванні ТІГ кольорових, активних і тугоплавких металів (Cu, Al, Ni, Mo та ін.) та їх сплавів, а також легованих і високолегованих сталей. Плазма дуги в аргоні має високоенергетичну внутрішню серцевину і зовнішню зону з меншим рівнем енергії, що

виділяється, що призводить до небажаного утворення пальцеподібної форми проплавлення (рис. 1, г) [11]. Гелій з газів, що застосовуються при зварюванні, по щільності ($0,178 \text{ кг/м}^3$) займає друге місце після водню ($0,083 \text{ кг/м}^3$). У порівнянні з аргоном ($1,784 \text{ кг/м}^3$) гелій має більш високу теплопровідність, що забезпечує рівномірний розподіл енергії по перетину стовпа дуги, що дозволяє отримувати глибоке і широке проплавлення параболічної форми, невелике посилення шва з плавним переходом до основного металу. Через високого потенціалу іонізації гелію ($24,58 \text{ eV}$) потрібно підтримувати підвищену напругу дуги в порівнянні зі зварюванням у аргоні при тій же довжині дуги і зварювального струму.

Тому гелій, як правило, застосовується в сумішах з аргоном при зварюванні алюмінію та інших матеріалів в тих випадках, коли потрібна висока концентрація нагріву в зоні зварювання. Довгий час світовий ринок гелію був невеликим і стабільним. Однак завдяки новим розробкам технології зварювання в захисних газах відкрилися перспективи розширення обсягів його застосування. Це пов'язано з використанням високопродуктивних процесів зварювання різних матеріалів в гелійсодержащих газових сумішах, наприклад, $\text{Ar}+\text{He}$, $\text{Ar}+\text{He}+\text{CO}_2$ [9] – [12], а також зварювання дугою прямої дії металевим електродом в іонізованих захисних газах з високою щільністю енергії (процесу TIME від англ. transferred ionized molten energy).

Зварювання в аргонових сумішах на відміну від зварювання в CO_2 дає можливість використовувати імпульсно-дуговий процес [13] з керованим дрібнокраплинним перенесенням і частотою відриву крапель, що відповідає частоті накладення імпульсів струму. Дрібнокрапельне перенесення відбувається при більш низькому середньому значенні зварювального струму в порівнянні з умовами без накладення імпульсів (табл. 1.3). Застосування ІДС дозволяє використовувати дріт одного і того ж діаметру для багатьох варіантів технології, тоді як при зварюванні без імпульсів зазвичай передбачається застосування дроту різних діаметрів в залежності від товщини зварюваного металу, його теплофізичних властивостей, просторового положення шва та

інших показників.

По мірі переходу до нових економічних відносин і структур і їх розвитку в промисловості України розширюватимуться області застосування механізованого зварювання електродом, що плавиться в окислювальних сумішах на основі аргону замість чистого CO_2 . Однак дані щодо застосування газових сумішей при зварюванні сталей розрізнені і ними важко керуватися в практичній діяльності.

Найбільший техніко-економічний ефект зварювання сталей в захисних сумішах на основі аргону забезпечує в наступних областях:

- виробництво металоконструкцій, які за умовами роботи не повинні мати приварених бризок;
- виробництво металоконструкцій відповідального призначення, що експлуатуються при негативних температурах і знакозмінних динамічних навантаженнях;
- багатопрохідний зварювання стикових і кутових з'єднань товстолистового металу;
- зварювання швів малого перетину на підвищеній швидкості; - зварювання виробів на поточних автоматизованих лініях з використанням роботів і автоматів.

Суміші $\text{Ar}+\text{He}+\text{CO}_2$, в яких аргон є основним компонентом, використовуються при зварюванні стаціонарною та імпульсною дугою, а суміші з переважаючим (від 60 % до 80 %) вмістом гелію – при зварюванні з короткими замиканнями. У зарубіжних публікаціях [16] розглядаються різні склади газових сумішей з гелієм (об. % : (від 69 до 55) Ar + (від 40 до 30) He + (від 3 до 5) CO_2), що забезпечують хороші технологічні показники, в зокрема, підвищення продуктивності при зварюванні товстого металу, широке та глибоке проплавлення основного металу, поліпшення формування і зовнішнього вигляду швів. Основна особливість зварювання в захисних сумішах $\text{Ar}+\text{He}+\text{CO}_2$ - це висока продуктивність процесу на режимах із

струменево-обертальним перенесенням електродного металу.

Суворі обмеження на склад захисного середовища, передбачені технологічними рекомендаціями розробників TIG-процесу, необґрунтовані, оскільки близькі показники продуктивності і якості можна отримати при використанні більш дешевих і простих у виготовленні газових сумішей на основі аргону без гелію, наприклад, $\text{Ar} + \text{CO}_2 + \text{O}_2$, та при ретельному підборі і коригуванні параметрів режиму [11], [14].

В даний час відомо багато різних способів дугового зварювання в захисних газах, за допомогою яких можна виконати одну і ту ж роботу. Однак одержані при цьому техніко-економічні результати будуть різними в залежності від умов виробництва і особливостей конструкцій. Кожен із способів зварювання має певні технологічні можливості і застосовується для конкретного виду зварювальних робіт, тому при виборі оптимального складу захисного газу і способу зварювання необхідно мати повне уявлення про особливості та можливості кожного із способів і враховувати їх, виходячи з конкретних умов виробництва. Великий вплив при цьому можуть надавати варіанти механізації та автоматизації зварювальних процесів, особливо при широкому наборі існуючих в даний час типів маніпуляторів і позиціонерів, а також роботів і систем регулювання з комп'ютерним управлінням.

При механізованому зварюванні вуглецевих і низьколегованих сталей в якості захисного газу широко використовується вуглекислий газ. Але процес зварювання в цьому газі поряд із перевагами має й суттєві недоліки, що обмежують його використання при виготовленні відповідальних металоконструкцій, а також у випадках, коли робота буде атестована міжнародними сертифікаційними організаціями.

Недоліками зварювання у вуглекислomu газі є:

- великі втрати електродного металу на розбризкування;
- наявність бризок на поверхні зварних виробів;
- низька якість поверхні шву;

– не завжди задовільні показники механічних властивостей металу шву, особливо ударної в'язкості при мінусових температурах.

Світовий досвід показує, що одним із ефективних шляхів удосконалення механізованого зварювання сталі плавкими електродами в окиснювальних захисних газах є використання сумішей захисних газів замість вуглекислого. З точки зору поєднання високих зварювально-технологічних характеристик та економічних показників найперспективнішими є суміші аргону з окиснювальними газами (кисень, вуглекислий газ): $Ar +$ від 20 до 25% CO_2 і $Ar +$ від 20 до 30% $CO_2 +$ від 3 до 7% O_2 [11], [14]. Такі суміші забезпечують оптимальне поєднання зварювально-технологічних характеристик, вартості виконання зварювальних робіт і якості зварних конструкцій.

Необхідно відзначити, що потрійна суміш $Ar + CO_2 + O_2$ має високий окиснювальний потенціал порівняно з сумішшю $Ar + CO_2$ і забезпечує підвищену стійкість швів проти утворення пор від азоту. Тому її застосовують при зварюванні стиків із збільшеним зазором, металу із слідами окалини, товстого металу на підвищених режимах дротами великого діаметра, а також у тих випадках, коли захист зони зварювання ускладнюється (наприклад, зварювання в монтажних умовах при швидкості вітру не менше 1,3 м/с).

Порівняно із зварюванням у вуглекислому газі, зварювання в аргонних сумішах оптимального складу забезпечує:

- зменшення втрат електродного металу на розбризкування в 3–4 рази;
- зниження трудоемкості при зачищенні основного металу від бризок у 8–10 разів;
- підвищення продуктивності праці зварників від 10 до 20 %;
- можливість використання імпульсно-дугового процесу і технологічних прийомів, які підвищують продуктивність зварювальних робіт (зварювання на прямій полярності, подовженому вильоті електроду, зварювання на підвищеній швидкості);
- підвищення показників механічних властивостей металу шва. в т. ч.

значення ударної в'язкості при мінусових температурах;

– поліпшення санітарно-гігієнічних і екологічних характеристик процесу зварювання.

До недоліків зварювання в аргонових сумішах відносяться підвищене світлове й теплове випромінювання зварювальної дуги та висока вартість сумішей.

Для зварювання практично всіх поширених марок конструкційних низьковуглецевих і низьколегованих сталей в суміші $\text{Ar}+\text{CO}_2$ і $\text{Ar}+\text{CO}_2+\text{O}_2$ можна використовувати стандартний зварювальний дріт Св-08Г2С і Св-08ГС за ГОСТ 2244 або їх закордонні аналоги, які застосовуються для зварювання в CO_2 . З'єднання конструкційних сталей, зварених у захисних газових сумішах на основі аргону стандартним зварювальним дротом, відрізняються високими показниками механічних властивостей (табл. 1.2). Необхідно відзначити високе значення ударної в'язкості металу шва при мінусових температурах.

Досить високі також показники стійкості металу швів, зварених в аргонових сумішах, проти утворення кристалізаційних тріщин. Використання аргонових сумішей дозволяє досягти високих значень холодостійкості і стійкості проти утворення тріщин металу шва.

Зварювання в сумішах $\text{Ar}+\text{CO}_2$ і $\text{Ar}+\text{CO}_2+\text{O}_2$ можна виконувати у всіх просторових положеннях із зварювальним обладнанням, апаратурою й джерелами живлення для зварювання у вуглекислому газі.

При цьому напруга дуги повинна бути від 2 до 3 В нижче порівняно із зварюванням у чистому CO_2 при такому ж зварювальному струмі і не перевищувати значень, рекомендованих для зварювання у вуглекислому газі.

Технологічні переваги захисних сумішей на основі аргону особливо проявляються при значеннях зварювального струму, які забезпечують струминне перенесення електродного металу.

Таблиця 1.2 –Механічні властивості металу шва і наплавленого металу при зварюванні дротом Св-08Г2С у суміші Ar+20% CO₂

Основний метал	Зварний струм, А	Напруга на дузі, В	Границя текучості, МПа	Тимчасовий опір розриву, СПа	Відносне видовження, %	Відносне звуження, %	Ударна в'язкість(Шарпі) Дж/см ² при температурі°С			
							+20	-20	-40	-60
							Метал шву			
Ст3сп (S=20 мм)	280-290	26-28	423	552	25,5	67,0	96	70	41	-
Ст10ХСНД (S=20 мм)	290-300	28-29	559	699	21,7	55,1	145	76	56	37
Ст09Г2 (S=25мм)	300-320	29-30	490	595	29,3	70,3	196	135	93	65
Ст09Г2С (S=16мм)	260-270	26-27	477	596	22,0	58,6	102	86	73	44
Наплавлений метал										
	280-290	27-29	410	525	33,1	69,2	170	118	89	68

В таблиці 1.3 наведені значення критичного зварювального струму, при якому розпочинається струминне перенесення, для різних діаметрів зварного Дроту, полярності струму з використанням імпульсно-дугового процесу зварювання (ІДЗ) у суміші Ar+20% CO₂. Суміші на основі аргону дозволяють виконувати зварювання на постійному струмі прямої полярності та одержувати при цьому нормальне формування шва з невеликою часткою участі в ньому основного металу.

Формування швів покращується при зварюванні в сумішах на основі аргону. Висота випуклості шва нижча, чим при зварюванні у вуглекислому газі, валик шва має плавний перехід до основного металу, формується дрібнолуската

поверхня шва, за зовнішнім виглядом аналогічна поверхні швів, зварених під флюсом.

Сприятлива форма шва, невисока випуклість і зменшена кількість витрат електродного металу розбризкуванням забезпечують помітне зменшення втрат електродного дроту на одиницю довжини шва. Зварювання в аргонних сумішах, на відміну від зварювання у вуглекислому газі, дає можливість використовувати імпульсно-дуговий процес, при якому проходить дрібнокрапельне перенесення металу з частотою відриву крапель, яка відповідає частоті накладання імпульсів струму.

Застосування імпульсно-дугового процесу дозволяє використовувати дріт одного й того ж діаметра при багатьох варіантах технології зварювання, тоді як при зварюванні без імпульсів застосовують дріт різних діаметрів залежно від товщини металу, який зварюється, просторового положення шва, теплофізичних властивостей металу, який зварюється, та інших показників.

На сьогодні цей процес розвивається в промислово розвинутих країнах, які мають принципово нові імпульсні джерела живлення дуги.

Таблиця 1.3 –Значення критичного струму переходу до струмного перенесення електродного металу при зварюванні в суміші $Ar + 20\% CO_2$ дротом Св-08Г2С

Діаметр дроту, мм	Критичний струм зварювання, А		
	зворотна полярність	пряма полярність	ІДЗ
1,0	240	—	160
1,2	260	350	180
1,4	300	380	210
1,6	340	420	240
2,0	400	460	-

Розроблене в ІЕЗ ім. Є.О. Патона джерело імпульсного струму за технічними характеристиками не поступається західним зразкам, а за деякими навіть перевершує їх.

Найбільший техніко-економічний ефект досягається при зварюванні в сумішах:

- конструкцій, які за технічними умовами не повинні мати приварених бризок металу;
- конструкцій, призначених для експлуатації в умовах низьких температур і динамічних навантажень;
- багатопрохідних швів товстолистого металу;
- вузлів і з'єднань на автоматизованих установках і лініях.

1.3 Технології і методи виготовлення заготовок для катодів

1.3.1 Вакуумно-дуговий переплав

Переплав в ВДП з електродом, що витрачається є поширеним способом отримання сталей і сплавів високої якості.

Метал ВДП характеризується однорідністю властивостей, низьким вмістом газів і шкідливих домішок, щільною макроструктурою, малим вмістом і рівномірним розподілом неметалевих включень, а також відсутністю багатьох дефектів ліквідаційного походження, що спостерігаються в злитках легованих сталей, відлитих в звичайні виливниці на повітрі (дефект виливки у вигляді місцевих скупчень хімічних елементів або сполук в тілі виливка, що виникли в результаті виборчої кристалізації при затвердінні). У ВДП виплавляють злитки масою до 200 т і більше. Сортамент сталей і сплавів, одержуваних в ВДП, досить різноманітний – шарикоподшипникова сталь для приладових підшипників, конструкційна легована сталь, корозійностійкі сталі, а також сталі і сплави з особливими фізичними властивостями. На рис. 1.5 приведена схема пристрою дугового вакуумної печі з електродом, що витрачається.

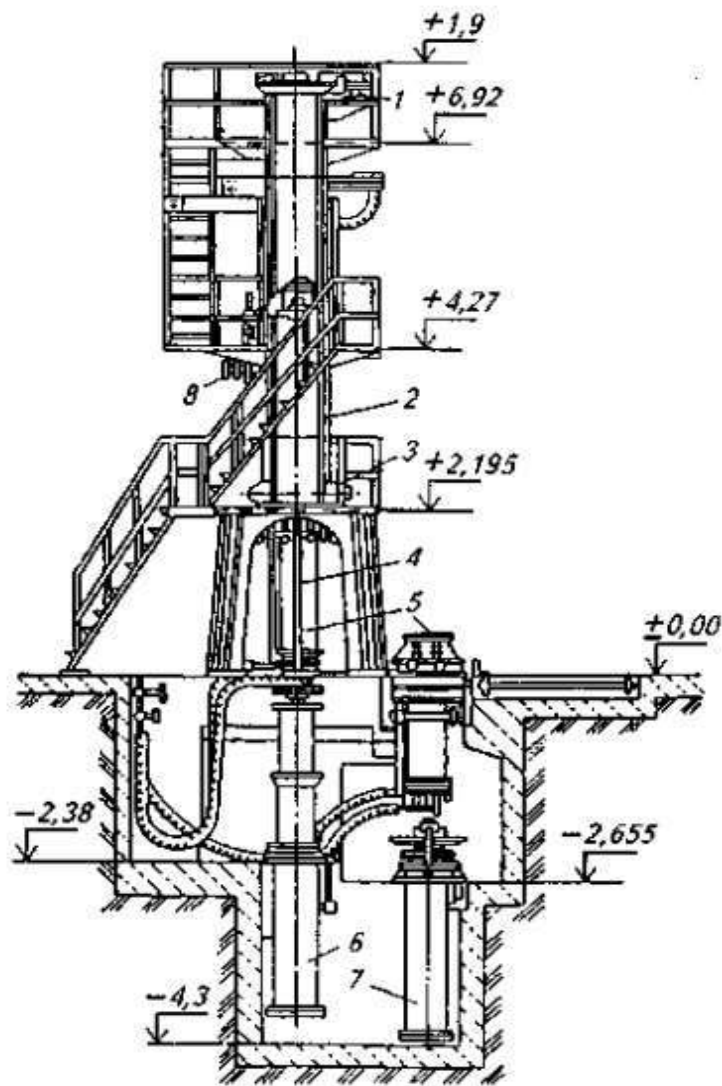
У ВДП електрод, що витрачається розплавляють в водоохолоджуваному

мідному кристалізаторі під дією електричної дуги, при цьому рідкий метал стікає в кристалізатор і там твердне у вигляді злитка. У виробництві обмежено використовуються печі з невитратним електродом. У них дуга горить між електродами, виготовленими з графіту або вольфраму, і шихтою, що завантажується в кристалізатор з дозатора.

Перевагою способу ВДП є відсутність контакту металу з вогнетривкою футеровкою, недоліком - неможливість зниження вмісту сірки через відсутність шлакової фази. Дугова плавка відрізняється високою концентрацією тепла в дузі, тому ВДП набув широкого поширення при виробництві злитків з тугоплавких металів (титану, цирконію, ніобію, молібдену, вольфраму та ін.). Переплав, в якому перепплавляється електрод, називають ВДП з електродом, що витрачається. Сучасна ВДП з електродом, що витрачається приведена на рисунку 1.5.

У деяких випадках виготовити електрод, що витрачається, неможливо (наприклад, при перепплаву титанової губки). У цих випадках губчастий або порошкоподібний матеріал розплавляють, поміщаючи його в зону дуги між постійним (невитратним) електродом і ванною. Такий метод називають ВДП з невитратним електродом. При ВДП з невитратним електродом замість кристалізатора іноді встановлюють металевий водоохолоджуванний тигель; під час плавки на стінках тигля утворюється корочка металу, що перепплавляється (гарнісажу) і розплав контактує з гарнісажу з цього ж металу. Печі такого типу називають гарнісажними.

Вакуумні дугові гарнісажние печі (ВДГП) використовують також для фасонного лиття виливків особливо відповідального призначення. Невитратний електроди зазвичай роблять з вольфраму. ВДП з електродом, що витрачається (рис. 1.6) складається з герметичної робочої камери з прикріпленням до неї за допомогою притискного фланця і вакуумного ущільнення мідним водоохолоджуванним кристалізатором.

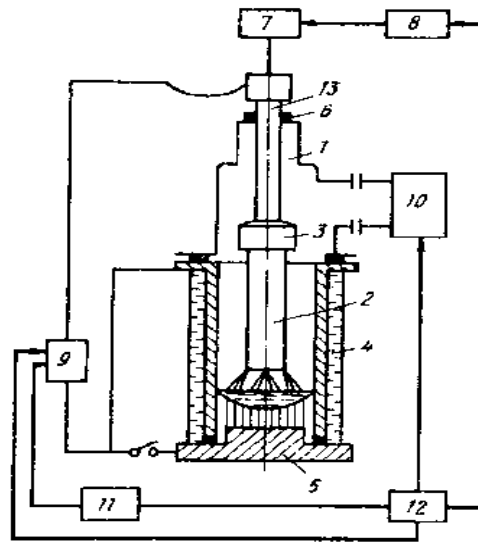


1 –механізм переміщення електрода; 2–вакуумна камера; 3 – механізм притиску електрода; 4 – напрямні кристалізатора; 5 – кристалізатор з піддоном; 6 механізм підйому кристалізатора; 7–механізм розвантаження; 8 – патрубок з вакуумним насосом

Рисунок 1.5 – Вакуумно-дугова піч

Робоча камера через патрубок з'єднана з системою вакуумних насосів і забезпечена баньки для спостереження за процесом переплавки (за допомогою перископа або телевізора) і отвором з вакуумним ущільненням для штока електродотримача. Для кращого контакту і запалювання дуги на дно кристалізатора укладають шайбу (затравки) і поверх неї стружку з того ж матеріалу, що і електрод. Для забезпечення видалення газів, що виділяються в

процесі плавки і запобігання заклинювання електрода між ним і кристалізатором передбачений зазор розміром від 25 до 70 мм.



1 – корпус печі, 2 – електрод, що витрачається, 3 – електродотримачі, 4 – кристалізатор, 5 – піддон, 6 – вакуумне ущільнення, 7 – механізм переміщення електрода, 8 – автоматичний регулятор переміщення електрода, 9 – джерело живлення печі, 10 – вакуумна система, 11 – регулятор струму, 12 – пульт управління 13 – рухливий потік

Рисунок 1.6 – Схема вакуумної дугового печі з електродом, що витрачається

Плавку зазвичай ведуть на постійному струмі з залишковим тиском $\sim 0,13$ Па, при цьому електрод є катодом, а злиток – анодом. Струм з напругою близько 25–80 до електрода підводять електродотримачем і водоохолоджуваними кабелями. Швидкість плавлення електрода не залежить від розмірів електрода і кристалізатора і визначається тільки силою струму,

$$A = I \cdot k, \quad (1.1)$$

де I – сила струму, кА;

k – постійний коефіцієнт, кг/(А·с). При напрузі 25 В коефіцієнт $k = 0,5-0,7$.

Для розрахунку сили струму, необхідної для отримання якісного зливка, використовують залежність

$$I_p = \beta \cdot D, \quad (1.2)$$

де I_p – сила струму при робочому режимі, А;

β – коефіцієнт, що дорівнює від 170 до 400 А/см (лінійна щільність струму);

D – діаметр кристалізатора.

При вакуумній дуговій плавці управляють як основними процесами і операціями (запалюванням дуги, прогрівом електрода, плавкою, висновком усадочною раковини), так і допоміжними (приваркою електрода, вакуумною системою, системою охолодження). Автоматичне регулювання процесу переплавки в ВДП дозволяє підтримувати задану довжину дуги, подачу електрода із заданою швидкістю і відповідну швидкість його плавлення.

Розрізняють три групи пристроїв, які забезпечують управління ВДП: регулятори струму дуги, регулятори дугового проміжку і пристрої захистів, блокувань і управління допоміжними операціями.

Отримання однорідного за структурою злитка ВДП забезпечують підтримкою сталості потужності, що підводиться до ванни, швидкості наплавлення злитка, стабілізації сили струму дуги і незмінною довжини дуги.

Плавку проводять наступним чином. Електрод встановлюють і центрують в кристалізаторі на затравці. Потім кристалізатор приєднують до печі, приварюють електрод до хвостовика електродотримача, відкривають піч і оглядають якість зварювання. Після додаткового центрування електроду в кристалізаторі піч герметизують, створюють в робочому просторі вакуум, включають струм, розводять рідку ванну, подають в зазор між злитком і кристалізатором гелій і, збільшуючи потужність до максимальної, ведуть плавлення електрода. В кінці плавлення потужність знижують і усадочних раковину виводять на малому струмі. Після відключення струму злиток

охолоджують в печі в атмосфері гелію, потім в піч напускають повітря, кристалізатор зі злитком від'єднують від плавильного простору і злиток вивантажують для подальшого охолодження і обробки його поверхні.

Установки ВДП мають перед іншими вакуумними печами і перш за все перед індукційними ряд переваг:

- відсутність контакту металу з футеровкою забезпечує отримання більш чистого металу;
- продуктивність установок ВДП значно вище продуктивності вакуумних індукційних печей;
- методом ВДП можна виплавляти злитки великої маси: в даний час до 60 т, проектується печі для виплавки злитків масою від 100 до 200 т.

Це зумовлює переважне розвиток серед вакуумних способів переплавки саме методу ВДП. Однак установки ВДП мають такі недоліки:

- необхідність використання спеціально підготовленої шихти у вигляді кованих або литих електродів;
- обмеженість можливостей легування металу;
- непристосованість для лиття.

1.3.2 Лиття в кокіль. Сутність процесу

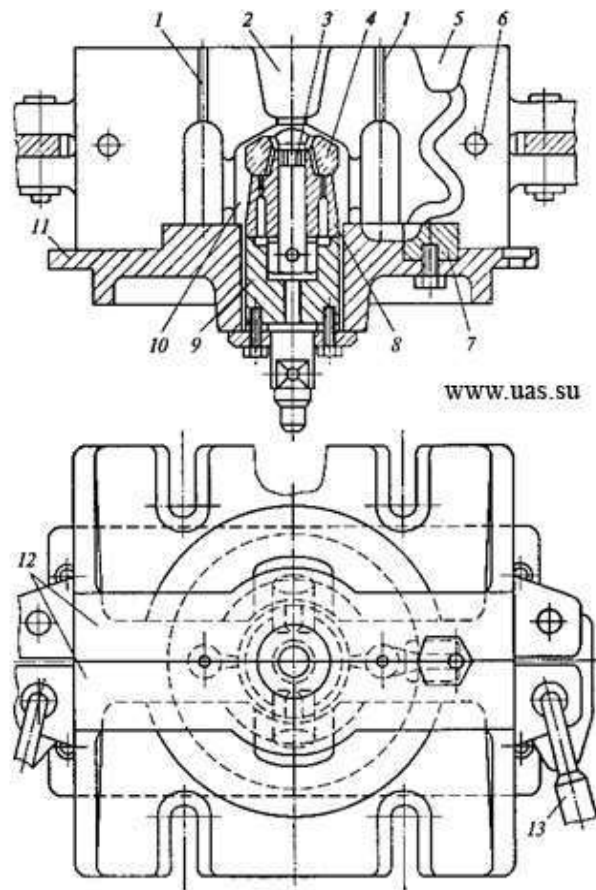
Кокільне лиття, або лиття в постійні форми – це лиття металу, здійснюване вільної заливанням кокілів. Кокіль (від фр. Coquille – раковина, шкаралупа) – металева форма з природним або примусовим охолодженням, що заповнюється розплавленим металом під дією гравітаційних сил.

Кокіль (рисунок 1.3) зазвичай складається з двох полуформ 12, плити 11 і вставок 7. Напівформи взаємно центруються штирями 6, а перед заливкою їх з'єднують замками 13. Порожнини і отвори в литві можуть бути виконані металевими або піщаними стрижнями, вилучаються з виливки після її затвердіння і охолодження до заданої температури. Розплав заливають у кокіль

через литниковую систему 5, виконану в його стінках, а живлення масивних вузлів виливки здійснюється з прибутку 2.

При заповненні кокиля розплавом повітря і газу видаляються з його робочої порожнини 10 через вентиляційні канали 1, пробки 3, канали між металевими частинами 9, що утворюють вентиляційну систему кокиля.

Основні елементи кокиля - напівформи, плити, вставки, стрижні і т.д. - зазвичай виготовляють з чавуну або сталі. Вище розглянуто кокіль простій конструкції, але у виробничій практиці часто використовують кокілі вельми складних конфігурацій.

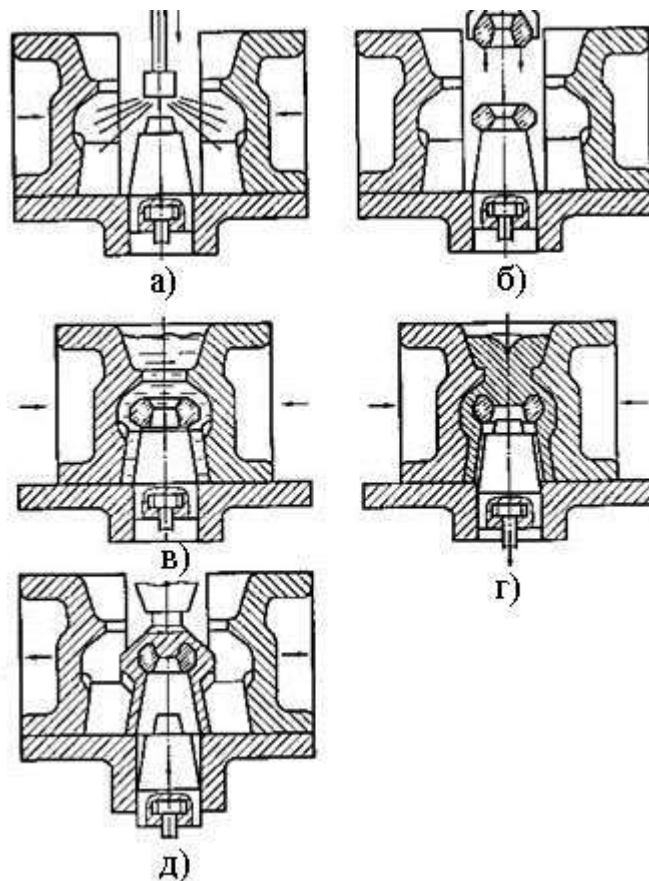


- 1 – вентиляційні канали; 2 – прибуток; 3 – вентиляційна пробка;
 4 – піщаний стрижень; 5 – литникова система;
 6 – штир (центруючий елемент); 7 – вставка; 8 – металевий стрижень;
 9 – вентиляційний канал; 10 – порожнина форми; 11 – плита (піддон);
 12 – напівформи; 13 – замок

Рисунок 1.3 – Кокіль

Заливанням розплаву новий кокіль підготовляють до роботи: поверхню робочої порожнини і роз'єм ретельно очищають від слідів забруднень, іржі, масла, перевіряють легкість переміщення рухомих частин, точність їх центрування, надійність кріплення.

Потім на поверхню робочої порожнини і металевих стрижнів наносять шар вогнетривкої покриття - облицювання і фарби (рисунок 1.4). Склад облицювань і фарб залежить в основному від типу сплаву, що заливається, а їх товщина - від необхідної швидкості охолодження виливки: чим товще шар вогнетривкої покриття, тим повільніше виливок охолоджується.



а) забарвлення кокиля; б) установка стрижнів; в) складання та заливка форми; г) затвердіння виливки; д) розбирання кокиля

Рисунок 1.4 – Послідовність виготовлення виливки в кокіль (стрілки - напрям руху деталей кокиля)

Висока ефективність теплової взаємодії виливки і форми: розплав і затверділа виливок охолоджуються в кокіль швидше, ніж в піщаній формі, тобто при однакових гідростатическом напорі і температурі заливається розплаву заповнюваність кокиля зазвичай гірше, ніж піщаної форми. Це ускладнює отримання в кокілях виливків зі сплавів зі зниженою жидкотекучестью і обмежує мінімальну товщину стінок і розміри виливків. Кокіль більш інтенсивно перешкоджає усадці виливки, що перешкоджає вилучення її з форми і може викликати появу внутрішніх напружень, викривлення виливки і тріщин в ній. У той же час непіддатлива форма не деформується через збільшення обсягу деяких розплавів при кристалізації через розширення, наприклад, в результаті виділення графіту в чавуні. У цьому випадку зменшується небезпека формування пористості при затвердінні виливка.

Спосіб лиття в кокіль має і недоліки, в числі яких такі:

а) висока вартість кокиля, складність і трудомісткість його виготовлення. Вартість кокиля зростає при отриманні виливків з поднутреними, для виконання яких необхідно ускладнювати конструкцію форми - робити додаткові роз'єми, використовувати вставки, роз'ємні металеві або піщані стрижні.

б) обмежена стійкість кокиля, яка вимірюється числом придатних виливків, які можна отримати в даному кокіль. Від стійкості кокиля залежить економічна ефективність процесу, особливо при литті чавуну і сталі. Тому проблема підвищення стійкості кокиля відноситься до найважливіших при вирішенні технологічних завдань кокильного лиття цих сплавів.

в) висока інтенсивність охолодження розплаву в кокіль в порівнянні з піщаної формою. Даний фактор обмежує можливість отримання тонкостінних протяжних виливків, а в чавунних виливках додатково призводить до відбілити поверхневого шару, які погіршують обробку різанням; викликає необхідність термічної обробки виливків.

г)неподатливість кокиля, яка призводить до появи в виливках напружень,

а іноді і тріщин.

д) використання в кокілі великого числа піщаних стрижнів. Цей фактор знижує точність одержуваних виливків і підвищує в цих місцях шорсткість їх поверхні.

Переваги та недоліки кокільного способу визначають в результаті раціональну область його використання. Внаслідок високої вартості кокілів економічно доцільно застосовувати цей спосіб лиття тільки в серійному або масовому виробництві.

1.3.3 Сутність TIG процесу

Цей спосіб зварювання широко застосовується в хімічній, теплоенергетичній, нафтопереробній, авіаційно-космічній, харчовій, автомобілебудівній та інших галузях промисловості для зварювання практично всіх металів і сплавів: вуглецевих, конструкційних і нержавіючих сталей, алюмінію і його сплавів, титану, нікелю, міді, латуні, кременистих бронз, а також різноманітних металів і сплавів; наплавка одних металів на інші.

Без зварювальних робіт важко собі уявити авіацію, космос, машинобудування і будівництво, затребувана зварювання і в побуті. Найрізноманітніші способи з'єднання металів та їх сплавів широко використовуються в даний час, і окреме місце тут займає недорогий, але ефективний метод TIG-зварювання. На відміну від методу MIG, де електродом служить рухомий дріт, в зварюванні TIG використовується тугоплавкий електрод з вольфраму з високою температурою плавлення. Через пальник з сіткою подається газ, а потім з затримкою в 1 секунду - напруга. Це робиться для того, щоб зварювання починалася в середовищі захисного газу, який подається під тиском і будучи важче повітря перешкоджає окисленню заготовок.

До переваг аргонодугового зварювання відносяться наступні параметри:

—можливість працювати як з тонкостінними деталями, так і з заготовками

значної товщини;

- широкі діапазони регулювання параметрів зварювального струму;
- використання негорючих газів, що підвищує безпеку робіт;
- тугоплавкі електроди багаторазового використання;
- наявність осцилятора для поліпшеного розпалювання дуги;
- можливість роботи з прямою і зворотною полярністю.

Кожен вид зварювання має своє призначення, переваги і недоліки, а також набір необхідного обладнання та витратних матеріалів для якісного поведінки робіт з найкращим результатом. У перелік обладнання для зварювання TIG входять наступні компоненти:

- інвертор MMA + TIG з перехідником для газової суміші і еврор’єднанням, з регулюванням вихідних параметрів, з вхідним живленням АС від 220 до 380 В і струмом від 10 А до 180 А;
- еврорукав, який використовується для подачі інертного газу, керуючих сигналів і зварювального струму;
- шланги подачі газу від балонів;
- балони, забезпечені редукторами і манометрами;
- пальник з кнопкою управління і цанговим затискачем вольфрамового електрода;
- зварювальний або присадний дріт, за складом близька до робочого матеріалу;
- інертний газ або його суміш з CO_2 для створення захисного середовища в зварювальній ванні;
- тугоплавкі вольфрамові електроди.

Зварювання TIG застосовується в промисловості, будівництві та побутових потребах. Великі можливості методу дозволяють використовувати його при зварюванні не тільки різних металів, а й їх поєднань, а також сплавів. Постійним і змінним імпульсним струмом можна сплавляти наступні матеріали:

- конструкційні та вуглецеві сталі;
- різні сплави алюмінію;
- сталь нержавіючу, в тому числі для санітарно-гігієнічних і харчових потреб;

- сплави титану;
- мідь, латунь і бронзу, а також їх поєднання;
- оцинкований метал і нікельовані поверхні.

Методу TIG доступні наступні режими робіт:

- спосіб із застосуванням постійного струму (DC) різної полярності;
- робота на змінному вихідному, височастотному струмі (AC) з використанням різних вольтамперних характеристик для щадного впливу на деталі;
- спосіб безконтактного високовольтного розпалювання дуги за допомогою осцилятора, що формує розряд.

Постійний струм використовується при зварюванні сплавів алюмінію і магнію з зворотною полярністю, що забезпечує хороші характеристики міцності зварювального шва і дозволяє зруйнувати тугоплавку оксидну плівку на поверхні заготовок.

Робота з використанням змінного струму називається імпульсною зварюванням, оскільки розігрів металу відбувається на пікових значеннях височастотних коливань. При базових свідченнях сили струму нагрівання заготовок знижується, що не допускає перегріву (особливо тонкостінного) металу. Тугоплавкий електрод необхідно тримати під кутом, близьким до 90 °, але з нахилом в сторону напрямки зварювального процесу без поперечних рухів, а прутки подавати легкими поступальними коливаннями в зварювальну ванну.

Висока якість зварних швів і з'єднань, яка досягається за рахунок застосування зварювання в аргонних сумішах, дозволяє з мінімальними затратами атестувати продукцію за нормами міжнародних сертифікаційних

установ.

Ручне дугове зварювання вольфрамовим електродом ведуть на спеціально для цього розроблених установках типу УДГ. За інших умов живлення дуги при зварюванні неплавким електродом може здійснюватися від інших джерел змінного струму. Використання джерел змінного струму пов'язано з тим, що при зварюванні постійним токомобратної полярності допустимо зварювальний струм невеликої величини через можливе розплавлення електрода, а при зварюванні постійним током прямої полярності не відбувається видалення окисної плівки з поверхні алюмінію. Витрата аргону становить від 6 л/хв до 15 л/хв. При переході на гелій витрата газу збільшується приблизно в 2 рази. Напруга дуги при зварюванні в аргоні від 15 В до 20 В, а в гелії від 25 В до 30 В.

За теплофізичних властивостях гелій істотно відрізняється від аргону. Він має високий потенціал іонізації (24,5 замість 15,7 еВ) і в 10 до 15 разів більшу теплопровідність при температурах плазми. Крім того, він легше аргону приблизно в 10 разів. Достатня для існування дуги іонізації аргону при $p = 10$ іонів / см настає приблизно при 16 000 К, в той час як для гелію – при 25 К. Всі ці особливості істотно впливають на властивості W-дуги в гелії. Наприклад, додавання до аргону гелію поступово перетворює конусну дугу в сферичну.

Будь-який дуговий заряд підтримується завдяки тому, що між електродами укладено іонізований простор, в якому спостерігається рух іонів і електронів від одного електрода до іншого.

У середовищі двоатомних газів електрони при своєму русі втрачають більше енергії, ніж при русі в середовищі аргону або гелію, так як при цьому відбувається багато непружних зіткнень. Це і веде до великої втрати енергії, іонізація молекул супроводжується їх дисоціацією. Даний процес одночасно обумовлює і меншу рухливість вільних електронів. Рухливість їх в середовищі інертного газу в кілька разів більше ніж в середовищі активних газів, що збільшує ймовірність порушення і іонізації нейтральних частинок газу. При розряді в середовищі двоатомних газу в дуговому проміжку утворюються

негативні іони, які ускладнюють рух електронів через збільшення електричного опору, чого не спостерігається в середовищі інертних газів.

Відсутність негативних іонів знижує коефіцієнт рекомбінації, що веде до збільшення стабільності розряду. У аргоні і гелії менше ймовірність самовільного припинення розряду, ніж в інших газах, так як перші є значно меншими потенціалами запалювання самостійного розряду. Катодне падіння напруги мінімально, тому для підтримки розряду потрібна мінімальна напруга. Знаходження атомів аргону і гелію в метастабільних станів полегшує ступінчасту іонізацію газів, а це веде до того, що потенціал горіння дуги виявляється нижче іонізаційного потенціалу газів.

Зазвичай потенціал збудження і іонізації інертних газів вище відповідних потенціалів парів металу, азоту і кисню, що ускладнює запалювання дуги змінного струму при її живленні від звичайних трансформаторів. Під час зварювання в середовищі гелію при однаковій силі струму напруга дуги на електродах, що складаються з W-Me (метал), Al-Al, Ti-Ti, значно вище, ніж дуги в аргоні. При зварюванні сталі напруга між залізними електродами дуже низька, приблизно від 8 В до 10 В.

Дуга в гелії має велику проплавляючу здатність і менш концентрована, вона створює більш рівномірну форму проплавлення, ніж дуга в аргоні, а остання забезпечує більшу глибину проплавлення в центрі. Перепад напруги в стовпі дуги в гелії більше, ніж в аргоні, тому зміна довжини дуги в гелії більш помітно позначається на напрузі і загальній тепловій ефективності.

Залежно від того, який інертний газ застосовується, змінюється поверхневий натяг на межі метал - газова фаза. Так, поверхневий натяг рідких хромонікелевих сталей аустенитної структури при зварюванні в гелії помітно менше, ніж в аргоні. Вказана обставина позначається на формуванні поверхні посилення шва. У гелії спостерігається більш плавний перехід посилення до основного металу, що іноді веде до зменшення концентрації напружень в цьому районі і поліпшенню працездатності зварного з'єднання. Тому в ряді випадків стає доцільним застосування аргоно-гелієвих сумішей в різних пропорціях

змішування.

Дуга, що горить між вольфрамовим електродом і металом в середовищі аргону, має свої особливості (рисунок 1.8). Статична характеристика такої дуги в аргоні, як і дуги під шаром флюсу, має позитивний характер. Це пояснюється охолоджуючим дією газового струменя і високою щільністю струму на вольфрамових електродах, яка становить від 10 А/мм^2 до 90 А/мм^2 . На рисунку нижче наведені статичні характеристики для вольфрамової дуги, що горить в аргоні. Можна бачити, що при великих токах і малих дугових проміжках напруга на дузі U_d менше потенціалу іонізації U_p :

– для аргону $U_p = 15,7 \text{ В}$

– для гелію $U_p = 25,4 \text{ В}$

Мінімальна напруга на дузі наближається до потенціалу збудження аргону, метастабільний стан якого, ймовірно, у цьому випадку відіграє значну роль. Градієнт напруги в гелії для великих дугових проміжків більше, ніж для малих проміжків. Зворотнє явище спостерігається в аргоні. Тут витрата газу та діаметр електрода мало відбиваються на характері залежності напруги дуги від її довжини, а в гелії, навпаки, напруга дуги можна змінювати, змінюючи витрату газу. Властивості дуги, що горить в аргоні між вольфрамовим електродом і металом, можуть змінюватися в залежності від властивостей металу і складу газової суміші.

Технологічні властивості вольфрамової дуги при зварюванні погіршуються через випрямлення змінного струму (якщо він застосовується) і появи в ланцюзі складової постійного струму.

Аналіз цього явища, проведене на осцилограмами, показує, що ступінь випрямлення струму в дузі залежить від відмінності термічних тимчасових постійних матеріалу електродів (теплоємності, помноженої на величину, зворотну теплопровідності). Чим більше різниця цих постійних, тим більше ступінь випрямлення струму в дузі. При різних матеріалах електродів різниця їх температур під час горіння дуги пропорційна різниці термічних тимчасових постійних. Однак відмінність температур катода в різні напівцикл горіння дуги

веде до появи складової постійного струму, і ступінь випрямлення виявляється пропорційною різниці термічних тимчасових постійних матеріалів електродів. Найбільше значення складової постійного струму, обумовлене розходженням теплофізичних властивостей, спостерігається для дуги, що виникає при використанні електродів системи W – Al.

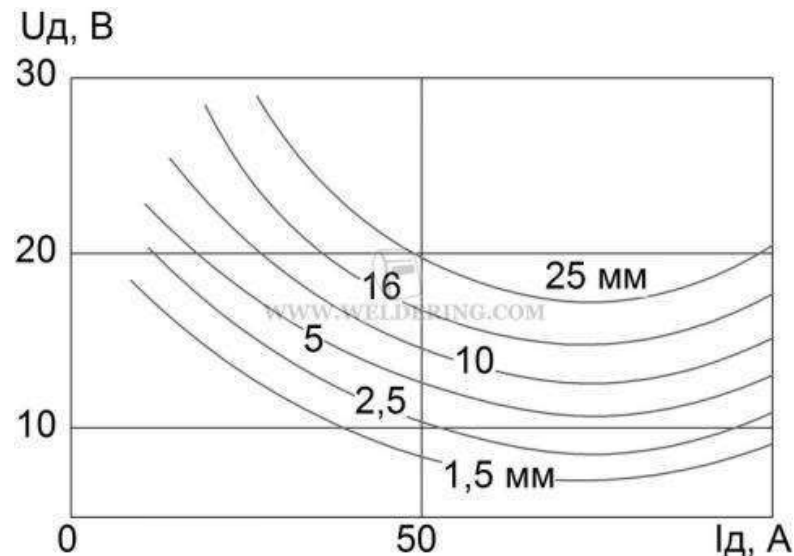


Рисунок 1.8– Статичні характеристики вольфрамової дуги в аргоні для різних довжин дуг

Зварювальне джерело живлення забезпечує зварювальну дугу електричною енергією. В якості джерела живлення при зварюванні TIG використовуються:

- зварювальні трансформатори - при зварюванні на змінному струмі;
- зварювальні випрямлячі і генератори - при зварюванні на постійному струмі;
- універсальні джерела живлення, що забезпечують, як зварювання змінним, так і постійним струмом.

До основних параметрів режиму зварювання TIG відносяться:

- тип вольфрамового електрода;
- діаметр електрода;

- тип захисного газу;
- сила струму зварювання ($I_{зв}$);
- напруга на дузі (U_d);
- швидкість зварювання ($V_{зв}$).

Захисний газ виконує кілька функцій. Одна з них полягає в тому, щоб витіснити собою із зони зварювання навколишнє повітря і, тим самим, виключити його контакт зі зварювальної ванни і розпеченим вольфрамовим електродом. Він також виконує важливу роль в забезпеченні проходження струму і передачі тепла через дугу.

Таблиця 1.4– Вибір типу захисного газу

Газ	Нелеговані та низколеговані сталі	Нержавіючі сталі	Нікелеві сплави	Мідні сплави	Алюмінієві сплави
Ar	X	X	X	X	X
Ar/H ₂		X	X		
Ar/He			X	X	X
He				X	X

Неплавкі вольфрамові електроди для дугового зварювання в захисних газах виготовляються 4-х типів (згідно ГОСТ 23949–80):

ЕВЧ – чистий вольфрам без спеціальних добавок;

ЕВЛ – вольфрам з добавкою окису лантану від 1,1 % до 1,4 %;

Еві – вольфрам з добавкою окису ітрію від 1,5 % до 3,5 %;

ЕОТ – вольфрам з добавкою двоокису торію від 1,5 % до 2 %.

Діаметр вольфрамового електрода вибирають залежно від його марки, величини і роду зварювального струму. Електроди ЕВЧ використовують для зварювання на змінному струмі, а інші для зварювання на змінному і

постійному струмі прямої і зворотної полярності.

Полярність струму зварювання істотно позначається на характері протікання процесу дугового зварювання в інертному газі вольфрамовим електродом.

Таблиця 1.5 – Вибір вольфрамового електроду

Діаметр електроду, мм	Постійнийструм, полярність						Змінний струм, А		
	пряма			зворотня					
	ЕВЛ	ЕВІ	ЕВТ	ЕВЛ	ЕВІ	ЕВТ	ЕВЛ	ЕВІ	ЕВТ
2	80	180	120	20	25	25	-	-	-
3	230	380	300	35	50	30	-	150	180
4	500	620	590	60	70	60	180	170	220

На відміну від зварювання електродом, що плавиться (до якої відноситься зварювання MMA і MIG/MAG) при зварюванні неплавким електродом в захисному середовищі інертного газу відмінності в характері процесу зварювання на зворотній і прямої полярності носять протилежний характер.

Так при використанні зворотної полярності процес зварювання TIG характеризується наступними особливостями:

- зниження введення тепла в виріб і підвищений в електрод (тому при зварюванні на зворотній полярності не плавиться, повинен бути більшого діаметру при одному і тому ж струмі; в іншому випадку він буде перегріватися і швидко зруйнується);

- зона розплавлювання основного металу широка, але неглибока;

- спостерігається ефект катодної чистки поверхні основного металу, коли під дією потоку позитивних іонів відбувається руйнування окисної і нитридної плівок (так зване катодне розпилення), що покращує сплавлення крайок і формування шва.

У той час при зварюванні на прямій полярності спостерігається:

- підвищення введення тепла в виріб і зниження в електрод;
- зона розплавлення основного металу вузька, але глибока.

Нижче наведено приблизний обсяг виділення тепла на різних ділянках дуги стосовно зварюванні TIG при струмі зварювання 100 А і при використанні прямої полярності (як вплив падіння напруги у відповідній області дуги на струм зварювання):

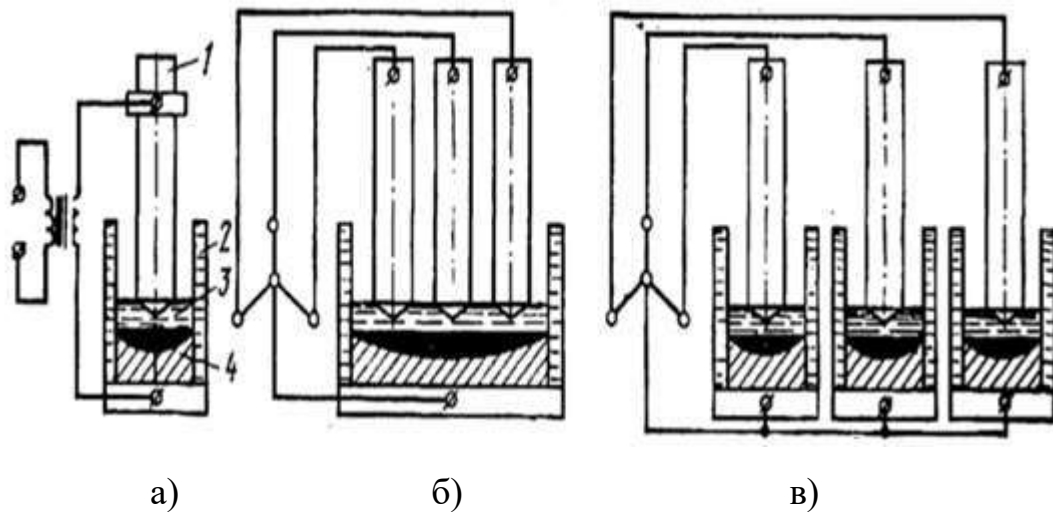
- в катодній області: $4 \text{ В} \times 100 \text{ А} = 0,4 \text{ кВт}$ на довжині $\approx 0,0001 \text{ мм}$
- в стовпі дуги: $5 \text{ В} \times 100 \text{ А} = 0,5 \text{ кВт}$ на довжині $\approx 5 \text{ мм}$
- в анодному області: $10 \text{ В} \times 100 \text{ А} = 1,0 \text{ кВт}$ на довжині $\approx 0,001 \text{ мм}$.

У зв'язку з тим, що при зварюванні на прямій полярності спостерігається підвищений введення тепла в виріб і знижений в електрод, при зварюванні на постійному струмі використовують пряму полярність. При цьому, завдяки тому, що тепло виділяється, в основному, в анодному області, плавляться лише ті ділянки основного металу, на які спрямовується дуга, тобто де виявляється розміщенням анод.

1.3.4 Установка електрошлакового переплаву

Процес електрошлакової переплавки (ЕШП) був розроблений в інституті ім. Є.О. Патона. Схема установки ЕШП показана на рисунку 1.7. Переплав здійснюється в водоохолоджуваному кристалізаторі. Між злитком і електродом є шар шлаку, в якому і виділяється тепло при проходженні через нього струму. Кристалізатор, виготовлений з міді.

При використанні трифазного трансформатора можливе одночасне розплавлення в одному кристалізаторі трьох електродів або підключення до одного трансформатора трьох кристалізаторів.



1 – електрод, що витрачається;

2 – кристалізатор;

3 – шлак;

4 – наплавляється злиток

Рисунок 1.7– Однофазна а) і трифазна б), в) схеми :)

Однофазна установка ОКБ+1065, призначена для переплавки електродів на злитки квадратного перетину масою 3500 кг, представлена на рис. 1.7. Електрод, що витрачається, закріплений в електродотримачі каретки, переміщується по вертикальній стійці за допомогою троса від електромеханічного приводу. Привід переміщення електродів складається з електродвигунів, диференціального редуктора і двох пар відкритих циліндричних передач. Утримується електрод в електродотримачі зусиллям пружин, а звільняється за допомогою пневматичного циліндра. Злиток наплавляється в кристалізаторі, до піддону якого кріпиться токопровід у вигляді мідних шин. До електроду струм підводиться за гнучкими водоохолодження кабелям. Кристалізатор по мірі наплавлення зливка піднімається спеціальної кареткою з самостійним рейковим приводом. Кристалізатор з піддоном встановлюється на самохідний візок, призначену для викочування наплавленого зливка.

Недоліком однофазних установок є висока реактивність струмопроводу

низькою боку внаслідок більшої довжини токопроводящей частини витрачається електрода і наявності петель гнучких проводів. Трифазні установки з трьома електродами на одному кристаллизаторе доцільні при виплавці великих злитків. Для зниження електричних втрат становить інтерес застосування біфілярного токоподвода. При ЕШП тепло виділяється завдяки проходженню струму через шлак. Щільність струму при цьому процесі зазвичай становить від 0,1 до 0,5 А/мм². Чим менше щільність струму, тим важче навести шлак на початку процесу, але тим легше підтримувати стабільність процесу, так як при малій щільності струму процес йде досить стійко в широкому діапазоні струмів і напруг.

На початку процесу застосовують електропровідний флюс, після того, як процес піде стійко, в кристалізатор завантажують робочий флюс. Основою для більшості робочих флюсів, що застосовуються при ЕШП, є фтористий кальцій. При ЕШП рідкий метал витрачається електрода переноситься через шлакову ванну в кристалізатор у вигляді крапель. Це збільшує площу зіткнення металу зі шлаком і забезпечує більш повне протікання рафінувальних процесів, ніж в звичайних дугових електропечах. У зв'язку з цим важливим моментом ЕШП є забезпечення оптимальної частоти відриву крапель від розплавляється електрода і їх оптимального розміру. Частота відриву крапель від кінця електрода, їх середній розмір, довжина шляху, який вони проходять в шлаку, залежать від параметрів плавки: сили струму і напруги, складу металу, що переплавляється та ін.

У кожному конкретному випадку підбирають технологію переплавки, що забезпечує при максимальній продуктивності установки ЕШП отримання високоякісного металу.

Електричний режим плавки робить вирішальний вплив на якість злитка і його поверхню. Зі збільшенням потужності, що підводиться збільшується глибина рідкої частини металу в кристалізаторі і тривалість затвердіння заготовки. Це викликає забруднення металу неметалевими включеннями.

Однак, зниження температури металу при малій потужності, що підводиться призводить до підвищення його в'язкості і потрапляння в метал частинок шлаку, появи кірочок шлаку. Поверхня заготовок різко погіршується.

Збільшення виходу придатного на установках ЕШП може бути досягнуто при використанні рідкого шлаку. Удосконалення систем управління потужністю шлакової ванни і швидкістю подачі або масової швидкістю плавлення електрода також підвищує продуктивність установки.

1.4 Проблеми при виготовленні катодів на нікелевій основі

Причинами утворення тріщин найчастіше є недотримання технології та режимів зварювання. Це може проявлятися, наприклад, в неправильному розташуванні швів у зварній конструкції, що призводить до високої концентрації напружень. Порушеннями в зварному шві називають порожнини, заповнені газами. Виникають в рідкому металі шва внаслідок інтенсивного газоутворення, при якому не всі газові бульбашки встигають вийти назовні до затвердіння зварного шва. Розміри пор, які утворюються в металі, бувають як мікроскопічні, так і досягають декількох міліметрів.

Причини утворення пор в зварних швах наступні:

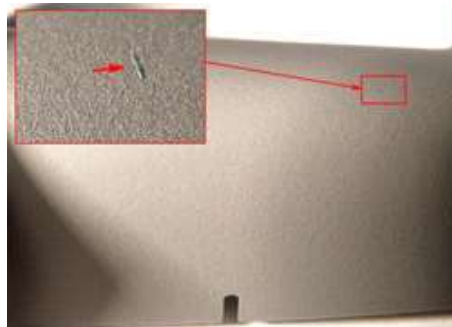
- низька якість зачистки зварювальних кромek і присадного дроту від забруднень (окалини, іржі, масел і т.п.);
- велика швидкість зварювання, при якій гази не встигають вийти назовні;
- підвищений вміст вуглецю в основному металі і присадний матеріал;
- підвищена вологість (наприклад: зварювання при сирій погоді, що позначиться на стані електродних покриттів, флюсу і т.д.);

Наявність пористості в зварному з'єднанні знижує механічні властивості металу (міцність, ударну в'язкість і т.п.), а також герметичність виробу.

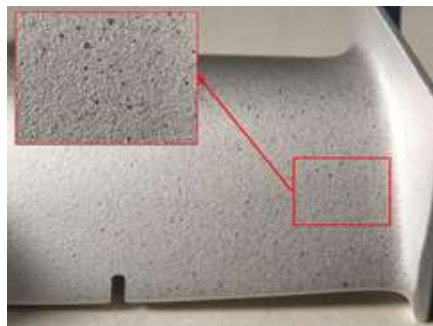
Ділянка зварювального шву, в якому присутні пори, підлягає переварінню з попередньою механічною зачисткою або механічною обробкою.

Несплавлення утворюються при зварюванні через те, що дуга не розплавляла частини кромки стику і не сформувала шов з її участю.

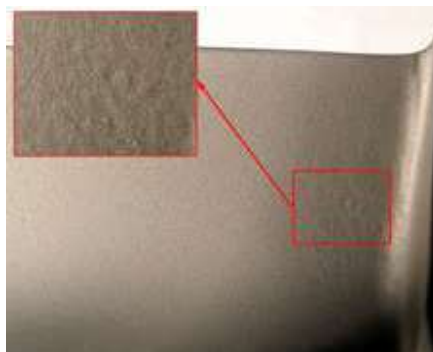
Непровар (неповний проварена) - несплавлення основного металу по всій довжині шва або на ділянці, що виникає внаслідок нездатності розплавленого металу проникнути в корінь при багатошаровому зварюванні.



а)



б)



в)

а) розбрискування,

б) пористість,

в) напливи

Рисунок 1.9 – Дефекти лопаток

В результаті непровару знижується перетин шва і виникає місцева концентрація напружень, що в кінцевому підсумку знижує міцність зварного з'єднання. При вібраційних навантаженнях навіть дрібні непровари можуть знижувати міцність з'єднання до 40 %. Великі непровари кореня шва можуть знизити міцність до 70 %. Найчастіше дефекти катодів (рисунок 1.9) проявляються вже в процесі нанесення покриття і як наслідок призводять до порушення нормальної роботи на самих лопатках.

Виниклі дефекти покриття на лопатках важко переробити. Основними дефектами при виготовленні катодів є:

- пористість;
- нерівномірність розподілу хімічних елементів;
- неоднорідність структури.

Для скорочення кількості дефектів і підвищення якості нанесення покриття потрібно розгляд різних технологій виготовлення катодів і порівняння якості одержуваного покриття.

1.5 Підвищення продуктивності зварювання в захисних газах за рахунок активації дуги

Одним з пріоритетних напрямків розвитку зварювання є підвищення її продуктивності. Про це свідчить виникнення і розвиток гібридних зварювальних процесів, таких, як лазер-дуга, що забезпечують підвищення продуктивності зварювання і якості зварних з'єднань. Аналогічна проблема стоїть і перед традиційними способами дугового зварювання, що обумовлено гнітючими обсягами їх застосування в різних галузях виробництва.

Традиційне рішення даної проблеми передбачає збільшення кількості металу, що наплавляється в одиницю часу [1], [2]. Це обумовлено обмеженою проплавляющою здатністю дуги, в результаті чого товщини, починаючи з 3 мм,

рекомендується зварювати з попереднім обробленням кромок [1] – [3], яку необхідно заповнювати. Тому технологи-зварювальники намагаються збільшувати кількість наплавленого металу.

Найбільш простим і доступним шляхом вирішення даного завдання при дуговому зварюванні є збільшення швидкості плавлення електрода за рахунок підвищення зварювального струму. Однак, при цьому збільшується тепловкладення в зварене з'єднання, що навіть при зварюванні низьковуглецевих сталей, що відрізняються високими показниками зварюваності, може привести до перегріву металу, зростання аустенітного зерна і підвищення крихкості зварного з'єднання [1]. При зварюванні сталей, схильних до загартування, це супроводжується ще і зниженням стійкості до утворення тріщин [4]. Отже, даний напрямок має суттєві обмеження по зварювальному струмі і по області застосування.

Спроби збільшити продуктивність зварювання за рахунок додавання залізного порошку в глину електродів і шихту порошкових дротів дали деякий позитивний результат, проте він досить обмежений.

При зварюванні в середовищі захисних газів збільшення кількості наплавленого металу на від 8 до 10 % досягається шляхом зменшення розбризкування.

Спроби вирішити проблему за рахунок застосування прямої полярності при зварюванні плавиться дали вельми обмежений ефект. Даний спосіб може застосовуватися при дугового зварювання подфлюсом, а при зварюванні в захисних газах на токах більш від 140 до 60 А дротом діаметром 1,2 мм різко погіршується перенесення крапель металу, зростає розбризкування і через підвищену пористості різко погіршується якість зварного з'єднання.

Все наведене вище свідчить, що підвищення продуктивності зварювання за рахунок збільшення кількості наплавленого металу має обмежені перспективи. Для вирішення даного завдання потрібно принципово інший підхід. Таким напрямком є збільшення глибини проплавлення. Досягти цього можна шляхом підвищення проплавляючої здатності дуги за рахунок

зменшення діаметра електродного дроту або застосування активують флюсів (активація дуги).

Збільшення глибини проплавлення можливо за рахунок зменшення діаметра електрода. У цьому випадку щільність струму в дузі зростає, що призводить до підвищення її газодинамічного тиску на зварювальну ванну і, як наслідок збільшення глибини проплавлення.

Для оцінки впливу діаметра електрода на глибину проплавлення доцільно використовувати розрахункову методику [2]. Результати розрахунків наведені в таблиці 1.6. Дані таблиці демонструють залежність щільності зварювального струму від діаметра електрода.

Ці дані свідчать, що за рахунок зменшення діаметра електродного дроту можна домогтися істотного збільшення глибини проплавлення.

Таблиця 1.6– Залежність щільності струму від діаметра електродного дроту

Зварний струм I , А	Діаметр електр пров, d_e , мм ²	Щільність струму, j , А/мм ²
300	2,0	95
300	1,6	150
300	1,4	195
300	1,2	265
300	1,0	382

Однак, як показали результати експериментів, практична реалізація даного способу збільшення проплавляючої здатності дуги пов'язана з низкою труднощів.

Другим напрямком вирішення проблеми збільшення проплавляючої здатності дуги є активація термохімічних реакцій в ній. Її застосування при зварюванні вольфрамовим електродом (АТІG-спосіб) забезпечило збільшення глибини проплавлення в 2–3 рази в порівнянні з традиційним способом без

зміни зварювального струму. Це дозволяє зварювати метал товщиною до 12 мм за один прохід без попередньої обробки кромки і присадного дроту.

Активує флюс, який вводиться в зону зварювання, ініціює стиснення дуги і підвищення щільності струму в ній. В результаті підвищується концентрація нагріву і збільшується газодинамічний тиск дуги на зварювальну ванну, що супроводжується збільшенням проплавляючої здатності дуги і глибини проплавлення [5] – [7].

Систематичні дослідження в напрямку збільшення проплавляючої здатності дуги при зварюванні почалися з 1996 року в ІЕЗ ім. Є. О. Патона. Уже перші результати досліджень в цьому напрямку показали, що активація дуги дозволяє в 2–2,5 рази збільшувати глибину проплавлення без збільшення зварювального струму або зменшувати погонну енергію при зварюванні металу однакової товщини.

Якщо проплавляючу здатність дуги при зварюванні традиційним способом прийняти за 1, то застосування активуючого флюсу дозволяє збільшити її в 2–2,5 рази. Тому для однопровідного зварювання з повним проплавленням металу товщиною 10 мм при традиційному способі необхідна погонна енергія 24694 Дж/см. Збільшення проплавляючої здатності дуги до 2,5 разів супроводжується зниженням погонної енергії, необхідної для зварювання металу товщиною 10 мм до 8103 Дж / см.

Наведені в таблиці 1.6 результати свідчать про ефективність збільшення проплавляючої здатності дуги за рахунок зменшення діаметра електродного дроту. Наприклад, при струмі 300 А діаметр електрода 2,0 мм забезпечує щільність струму 95 А/мм² і глибину проплавлення 3,1 мм. Зменшення діаметра електрода в 2 рази (до 1,0 мм) супроводжується збільшенням щільності струму в 4 рази (до 382 А/мм²), а глибини проплавлення до 6 мм - практично в 2 рази.

Однак, як показали результати експериментів, для досягнення зварювального струму 300 А дріт діаметром 1,0 мм необхідно подавати в зону горіння дуги зі швидкістю від 1100 м/год до 1200 м/год. При таких швидкостях подача електрода діаметром 1,0 мм вкрай затруднена. Через низьку жорсткості

дріт періодично мнеться в каналі між механізмом подачі і зварювальним пальником і заклинює. У міру збільшення довжини каналу і швидкості подачі зростає ймовірність того, що зім'яло і заклинювання дроту в ньому, тобто практична реалізація даного напрямку збільшення проплавляючої здатності дуги і продуктивності зварювання вкрай утруднена. З урахуванням цього подальші дослідження в даному напрямку були визнані недоцільними.

При традиційному способі зварювання в захисних газах для виконання за один прохід зварного з'єднання товщиною 10 мм необхідна погонна енергія 24694 Дж/см. Застосування активуючого флюсу дозволяє збільшити проплавляючу здатність дуги в 2,5 рази і зменшити погонну енергію, необхідну для однопровідної зварювання металу товщиною 10 мм до 8103 Дж/см, т.п. у 3 рази. Відмінність в інтенсивності впливу активують флюсів на підвищення проплавляючої здатності дуги і зниження погонної енергії зварювання, як показали результати досліджень, пов'язані з теплофізичними характеристиками, що зварюється.

На даний момент розроблено активуючі флюси і техніка зварювання, які дозволяють збільшувати глибину проплавлення в 3 рази в порівнянні з традиційним способом, а швидкість однопровідного зварювання металу товщиною 10 мм до від 37 до 40 м/ч. При цьому погонна енергія зварювання становить від 4500 Дж/см до 5000 Дж/см. Підвищення проплавляючої здатності дуги при зварюванні змінює умови формування зварних швів. Шви формуються вузькими і глибокими, клиноподібної форми. Відношення ширини до глибини (коефіцієнт форми) в таких швах менше одиниці.

Такі шви, виконані традиційними способами зварювання, характеризуються мінімальною стійкістю проти утворення гарячих тріщин. Однак результати численних експериментів свідчать, що при зварюванні з активацією дуги гарячі тріщини не утворюються.

Результати досліджень, наведені в роботах [1], [4], [14], [15], свідчать, що схильність металу шва до утворення гарячих тріщин зростає в міру збільшення тривалості його перебування в твердожидкому стані або в температурному

інтервалі кристалізації [1]. Температурні межі цього інтервалу залежать від хімічного складу металу [16], а тривалість перебування металу в цьому інтервалі визначається кількістю тепла, акумульованого рідкої зварювальної ванни. Кількість тепла, яке вводиться в зварене з'єднання, визначається погонною енергією, і чим вона більше, тим тривалішим буде кристалізація зварювальної ванни, і тим більше ймовірність утворення гарячих тріщин у шві. Тому одним з широко відомих методів підвищення стійкості зварних з'єднань проти утворення гарячих тріщин є прискорення кристалізації рідкого металу [1], [4] за рахунок зменшення погонної енергії зварювання. Це дозволяє висунути припущення, що саме зменшення погонної енергії зварювання запобігає утворенню гарячих тріщин в швах при зварюванні з активує флюсом. Однак дане питання вимагає спеціальних досліджень, що є завданням подальшої роботи.

Таким чином:

- активація дуги при зварюванні в захисних газах дозволяє збільшити проплавляючу здатність дуги і підвищує продуктивність зварювання на знижених токах.

- у порівнянні з традиційним способом застосування активних флюсів забезпечує збільшення глибини проплавлення в 2–3 рази (при однаковій погонній енергії) або зменшення погонної енергії при однопрохідної зварюванні металу однакової товщини.

- зменшення погонної енергії зварювання, яке досягається за рахунок активації дуги, сприяє скороченню тривалості перебування металу зварного з'єднання в температурному інтервалі кристалізації, що сприяє поліпшенню механічних властивостей зварного з'єднання, особливо при мінусових температурах.

1.6 Постановка завдання

Розглянути способи отримання сплавів на основі нікелю з системою

легування Cr-Al-Y, при виготовленні катодів для нанесення жаростійких і жароміцних покриттів лопаток газотурбінних двигунів і установок.

Описати дефекти у вигляді пор, несплошностей, нерівномірності розподілу легуючих елементів, що виникають в нікелевих катодах при виплавці, і розглянуто їх вплив на якість нанесених покриттів.

Показати, що існуючі технології не дозволяють забезпечити виробництво бездефектних катодів з високим рівнем однорідності структури і складу.

Розглянути можливість удосконалення технології вакуумно-дугового переплаву як однієї з найбільш перспективних для отримання злитків високої якості з низьким рівнем ліквационної і структурної неоднорідності. Підвищення якості злитків досягається за рахунок використання шихтових матеріалів різного фракційного та хімічного складу, підбору оптимальних параметрів переплавки (струм, напруга, час плавки, температура підігріву кокиля, температура розливання).

Отримати дослідні зразки сплаву на нікелевій основі з додаванням Hf. Визначити коефіцієнти переходу елементів. Провести металографічні дослідження макро- і мікроструктури, а також хімічний склад. А це дозволяє прогнозувати підвищення якості і в свою чергу ефективності нанесення захисних покриттів, що позитивно позначиться на ресурсі і працездатності виробів, якими є відповідальні деталі авіаційного призначення.

2 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ І ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

2.1 Аналіз літературних даних

Комплексний аналіз умов експлуатації лопаток газотурбінних двигунів та характеру їх пошкодження дозволяє зробити висновок про наявність порушень цілісності шару, який є захисним. Причиною таких ушкоджень та зниження якості покриттів, які наносяться, може служити комплекс факторів (дефектів):

- нерівномірність нанесення покриттів у зоні інтенсивного зношення;
- неоднорідність структури покриття;
- наявність ликваційних явищ в структурі покриття.

Присутність цих дефектів покриття залежить від гомогенності структури и хімічного складу катодів, що споживаються, їх якість можна забезпечити шляхом використання відповідних технологій виготовлення [5].

Зараз для покращення експлуатаційних характеристик лопаток газотурбінних двигунів, які складаються з жароміцних сплавів, використовуються захисні покриття, основою яких є система Ni–Cr–Al (в різних співвідношеннях). Нікелеві жароміцні сплави є складними багатокомпонентними и багатофазними системами. В них під дією високих температур та напруження постійно протікають фазові и структурні зміни, тобто ці сплави є, якщо подивитися з фізико-хімічних позицій, динамічними системами. Використання складних систем легування визначено необхідністю стабілізації структури, а також, и якості покриттів, які наносяться. Такі сплави виготовляються з використанням модифікування и мікролегування. Звичайно для цієї мети використовуються рідкоземельні метали (РЗМ), наприклад, ітрій [6]. У дипломній роботі використанні результати дослідження з виготовлення катодів та нанесенню захисних покриттів з них на лопатки ГТД жаростійкими сплавами на основі Co [7] і Ni [8]. В обох випадках мали Y до 1,6 % для підвищення жаростійкості покриттів.

Відомо, що при виробництві жаростійких и жароміцних сплавів, що перебувають на нікелевій основі, в їх склад водяться високоактивні, поверхнево-активні елементи (Y, Hf и La) з метою формування нанорозмірних фаз, які стабілізують структуру сплаву та підвищують його якість. Ці елементи активно взаємодіють з домішками, які є елементами укорінення (в більшості з вуглецем та киснем), та можуть створювати стабільні карбіди и оксиди на кордонах поділу (міжфазові кордони, накоплення дислокацій та інше). Також можливе утворення надлишкових з'єднань з нікелем і алюмінієм [9]. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

Також ітрій і лантан локалізуються на **границях** поділу фаз та структурних складових, які утворюють надлишкові з'єднання, як з нікелем и алюмінієм, так і з елементами домішок **[Ошибка! Источник ссылки не найден.]**.

Ітрій у відповідних пропорціях стабілізує оксидні плівки алюмінію і хрому, покращує адгезію покриттів, що наносяться, до матеріалу підложжя, підвищують термічну стабільність сплавів, сповільнюють коагуляцію фаз, що зміцнюються [9]. Встановлено, що ітрій, який розчинений у нікелевій матриці, вдало діє на жароміцність нікелевих сплавів, що пояснюється гальмуванням дифузійних процесів. Введення ітрію у кількості, яка перебільшує його межу розчинення (для нікелю це від 0,2 до 0,3 мас. %), приводить до виділення усередині і по кордонах зерен з'єднань, які за хімічним складом близькі до фази Ni_3Y . При цьому має місце зниження коротко часової міцності и в'язкості [9].

Hf також нерозчинений у твердих розчинах та локалізується на кордонах поділу фаз, що приводить до подібного ефекту.

Практично відсутня інформація про вплив Hf на характеристики катодів, що витрачаються (їх гомогенність), а також на властивості покриттів, що наносяться. Відомо, що розчиненість Hf в Ni знаходиться на рівні приблизно 2 %. Hf добре впливає на гомогенність хімічного складу і однорідність структури сплавів на нікелевій основі.

Так, як центральна роль у характеристиці покриттів, що наносяться, грає якість катодів, які використовуються, необхідно забезпечити їх хімічну,

структурну і фазову однорідність з мінімальною кількістю дефектів [6, 7]. Оскільки концентрація елементів, що модифікуються, знаходяться на рівні десятих відсотка, їх введення та рівномірний розподіл утрудняється та є дуже важливим завданням. Використання вакуумно-індукційного переплаву (ВДП) приводить до виникнення ряду дефектів, а саме: пористість, наявність неспеціальностей, несплавлень і ліквідаційних процесів [7].

Виходячи з викладеного вище, ухвалене наступне:

- використати метод вакуумно-дугового гарнісажного переплаву, на противагу існуючим технологіям для одержання катодів необхідної якості;
- використати Hf, у вигляді альтернативної мікродобавки замість ітрію, з метою підвищити гомогенність хімічного складу, однорідності структури і технологічності процесу нанесення покриттів.

2.2 Мета и завдання дослідження

Метою дослідження є підвищення якості катодів, що витрачаються. Їх використаємо для нанесення жаростійких іоно-плазмічних покриттів, шляхом підбору оптимального складу модифікування і розробка технологій їх введення.

Для досягнення мети були запропоновані наступні завдання:

- дослідження впливу модифікування катодів на мікроструктуру і розподіл легованих елементів у них;
- дослідження впливу складу катодів на якість покриттів, що виготовляються.

2.3 Матеріали і методи дослідження

Для виготовлення зливків використовувалася установка вакуумно-дугового гарнісажного переплаву (рисунок 2.1), яка дозволяє використовувати дрібнодисперсну сировину (у вигляді порошків або чушок), що добре відображається на гомогенності зливків, що отримуються [6].

Підготовка шихти відбувалася шляхом механічного здрібнення матеріалів та відповідали даним, які вказані в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад шихтизливків, що досліджувалися

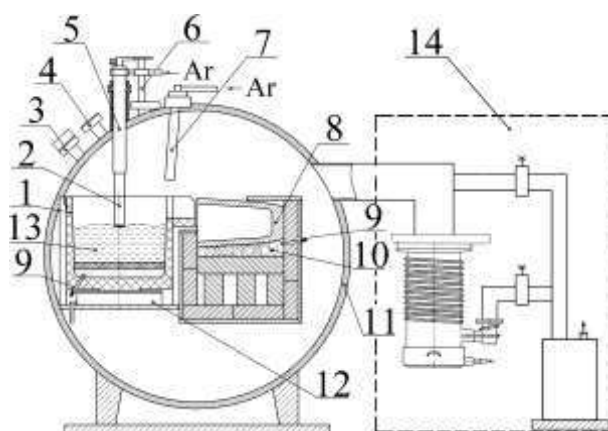
Хімічний склад, %мас.						
№зливка	Ni	Cr	Al	Hf	La	Y
1	67,55	22,00	13,00	0,56	–	–
2	67,55	22,00	13,00	–	0,55	–
3	67,55	22,00	13,00	–	–	0,6
Коефіцієнтпереходу	1,00	0,91	0,93	0,90	0,87	0,85

Як шихтові матеріали для виплавки зливків відповідної якості використовували наступні матеріали: алюміній початковий (мін 99,9 %) марки А99, ГОСТ 11069–2001; ітрій металічний (99,5 %) ІтМ–1. ТУ 48–4–208–72; лантан марки ЛаМ–1 ГОСТ 23862.5–79; гафній йодний ГФИ–1, ГОСТ 22517–77; нікель катодний Н1У, ГОСТ 849–97; хром металічний Х99Н1, ГОСТ 5905–2004.

Переplав проводили в графітовому тиглі з початковим наведенням гарнісажу і наступним виливанням розплаву у графітовий кокіль. Зроблені зливки мали наступні геометричні параметри: діаметр 127 мм, висота від 45 до 50 мм.

Плавки проводились у наступному діапазоні режимів технологічного процесу: I від 450 до 1800 А, U від 35 до 40 В, τ від 25 до 30 хв, початкове створення вакууму 1×10^{-4} мбар, робоче середовище – суміш газів Ag/He (70/30), тиск $P=0,5$ атм. Температура підігріву кокілю $t_{пк}$ від 300 до 450 С, час підігріву кокілю перед плавкою складало від 30 до 35 хв. температура розплаву перед заливкою в кокіль t_p від 1550 до 1750 °С; час остигання від 60 до 90 хв.

Використання вказаних параметрів дозволило забезпечити якісний переплав і перемішування усіх компонентів сплаву.



1 – тигель; 2 – електрод, що не плавиться; 3 – оглядове вікно з відеореєстрацією; 4 – оглядове вікно; 5 – електродотримач; 6 – привод переміщення; 7 – підвід аргону; 8 – кокіль; 9 – термопара; 10 нагрівач; 11 – плавильна камера; 12 – анод; 13 – розплав; 14 – вакуумна система

Рисунок 2.1. – Схема установки ВДП

Дослідження хімічного складу проводили з використанням растрового електронного мікроскопу РЕМ 106І, який має систему мікроаналізу.

Зразки для шліфів структур виготовляються послідовним шліфуванням, поліруванням і травленням. Металографічні дослідження цих структур проводилися за допомогою оптичного і електронного мікроскопів.

Дослідження мікроструктури проводили на мікрошліфах з використанням мікроскопу «AxioObserver. Dlm», скануючого електронного мікроскопу «JEOL JSM 6360LA» та інверсного мікроскопу «Neophot–32».

Енергодисперсний аналіз проводили за допомогою растрового мікроскопу JSM–6360LA з інтегрованою системою мікроаналізу, який дозволяє досліджувати хімічний склад локальних частин мікроструктури сплавів.

Після здобуття відливок, проведення хімічних і металографічних досліджень, з них виготовлялися (методом механічної обробки) катоди,

які використовувалися, необхідних геометричних розмірів, які використовувались для нанесення покриттів.

Були проведені порівняння покриттів, що нанесені по серійної технології з використанням катодів, які були зроблені методом ВП і покриттів, які зроблені з дослідної технології з використанням катодів після вакуумно-дугового переплаву. Для проведення порівняльних досліджень були вибрані катоди модифікованих ітрієм, так як тільки такий склад використовується при серійному виробництві і дослідний. Хімічний склад покриттів визначили рентгеноспектральним мікроаналізом (РСМА).

З РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ З МОДИФІКУВАННЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ КАТОДІВ

3.1 Дослідження структури і хімічного складу дослідних катодів

Результати досліджень хімічного складу зливків, які були дослідженні, приводяться в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад дослідних зливків, що мають різні РЗМ

Сплав	Хімічний склад						
	Основні компоненти, % мас.						
	Ni	Cr	Al	Hf	La	Y	примеси
1	Осн.	18–22	11–13	0,3–0,6	–	–	≤1,5
2	Осн.	18–22	11–13	–	0,3–0,6	–	≤1,5
3	Осн.	18–22	11–13	–	–	0,3–0,6	≤1,5

Результати аналізу мікроструктури та розподілу елементів приводяться на рисунках 3.1 – 3.3.

Порівняння результатів металографічних досліджень мікроструктури дослідних зразків (рисунки 2,а, 3,а, 4,а) дозволяє зробити висновок про те, що введення в склад таких елементів як Y і La оказує схожий вплив на процеси структуроутворення. Модифікування Y і La дозволяє отримати достатньо гомогенну структуру зразків. Також при введенні Hf (рисунк 4,а) ця структура характеризувалася більшою мірою однорідності у порівнянні з модифікуванням Y (рисунк 2,а) і La (рисунк 3,а). Можна побачити також якісний вплив Hf (рисунки 4,б–д) на рівномірність розподілу легуючих елементів (Al, Cr) в об'ємі матеріалу у порівнянні з зразками з Y (рисунки 2,а–д) і La (рисунк 3,а–д).

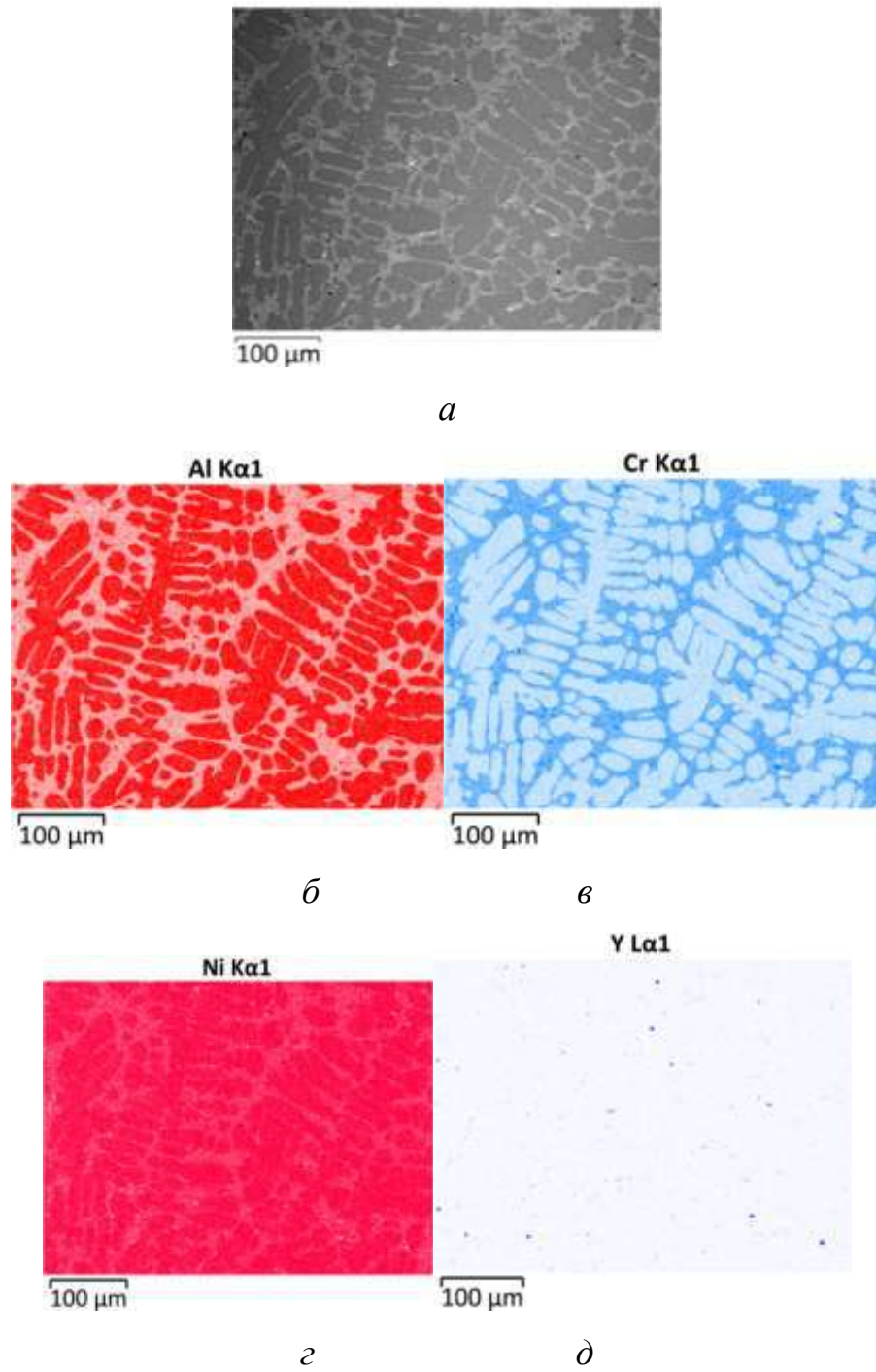


Рисунок 3.1. – Мікроструктура і розподіл елементів у структурних складових сплаву системи Ni–Cr–Al–Y: *a* – мікроструктура зразка; *б* – розподіл Al; *в* – розподіл Cr; *г* – розподіл Ni; *д* – розподіл Y.

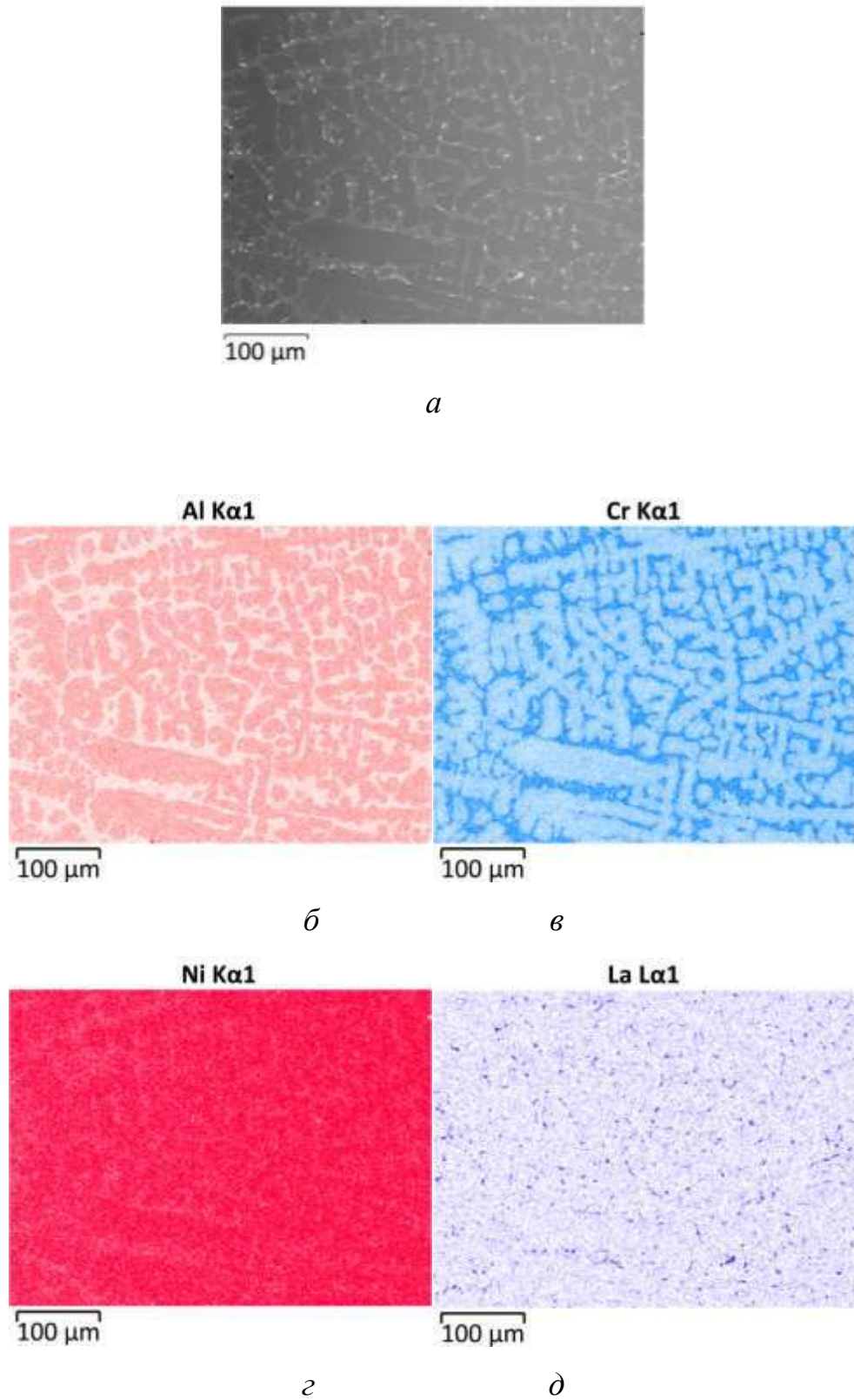


Рисунок 3.2 Мікроструктура и розподіл елементів в структурних складовихх сплаву системи Ni–Cr–Al–La: *a* – мікроструктура зразка; *б* – розподіл Al; *в* – розподіл Cr; *г* – розподіл Ni; *д* – розподіл La

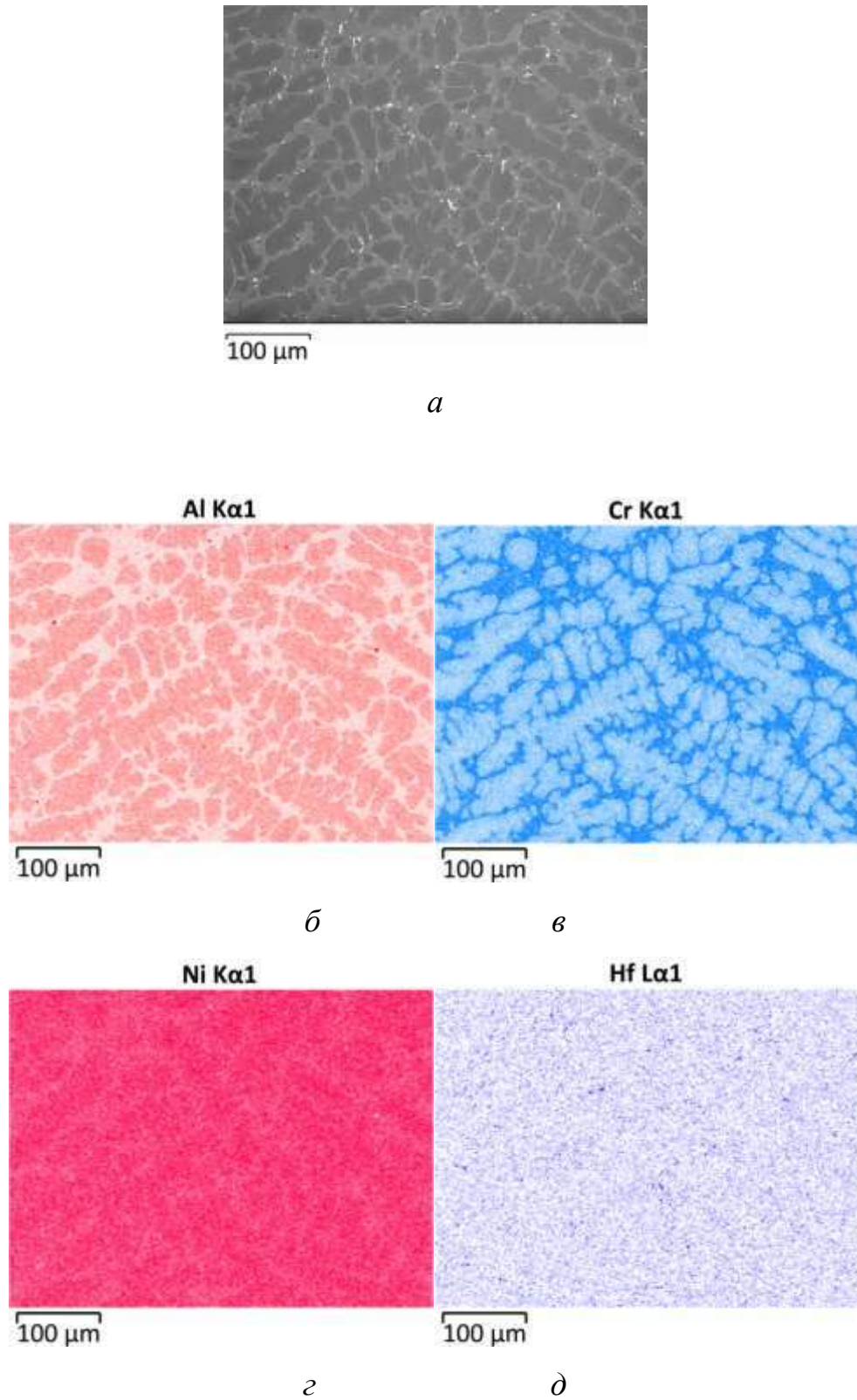


Рисунок 3.3 Мікроструктура и розподіл елементів в структурних складових сплаву системи Ni–Cr–Al–Hf: *a* – мікроструктура зразка; *б* – розподіл Al; *в* – розподіл Cr; *г* – розподіл Ni; *д* – розподіл Hf

Також необхідно відмітити, що у порівнянні з Y (рисунок 2,д) и La (рисунок 3,д) Hf (рисунок 4,д) має найбільшу ступень рівномірності розподілу по площині шліфа. Тобто забезпечує надання більш однорідної структури з мінімальними проявами ликваційних процесів.

Аналіз результатів, що досягнені, дозволяє зробити висновок, що усі дослідні сплави, які були зроблені методом дугового переплаву, мають однорідну структуру з рівномірним розподілом легуючих елементів, що підтверджується мапами їх розподілу по площині мікрошліфу. Незалежно від використання модифікованого елемента у структурі сплавів, відсутні характерні дефекти у вигляді несуцільностей або пор. Ці дані дозволяють зробити висновок про можливість виготовлення покриттів з високими якісними характеристиками и більш високим рівнем гомогенності структури та рівномірності нанесення покриттів на матеріал підложки.

3. 2. Дослідження покриттів, які були нанесені за допомогою дослідних катодів

Результати аналізу зроблених покриттів представлені на рисунках 3.4 – 3.6

Металографічні дослідження мікроструктури зроблених покриттів (рисунки 3.5,а,б, 3.6,а,б, 3.7,а,б) кажуть про те, що введення Hf як легуючого елемента, дозволило добитися найкращих якісних показників цих покриттів у порівнянні з Y и La. Аналіз структури покриттів показав, що зразки з Hf мають більшу ступень гомогенності і меншою кількістю дефектів, що особливо важно при нанесенні покриттів більшої товщини (більше 40 мкм), оскільки збільшення товщини покриття обов'язково приводить до збільшення загальної кількості дефектів. Введення Hf дозволяє наносити покриття товщиною до 90 мкм. за рахунок одержання менш дефектної структури.

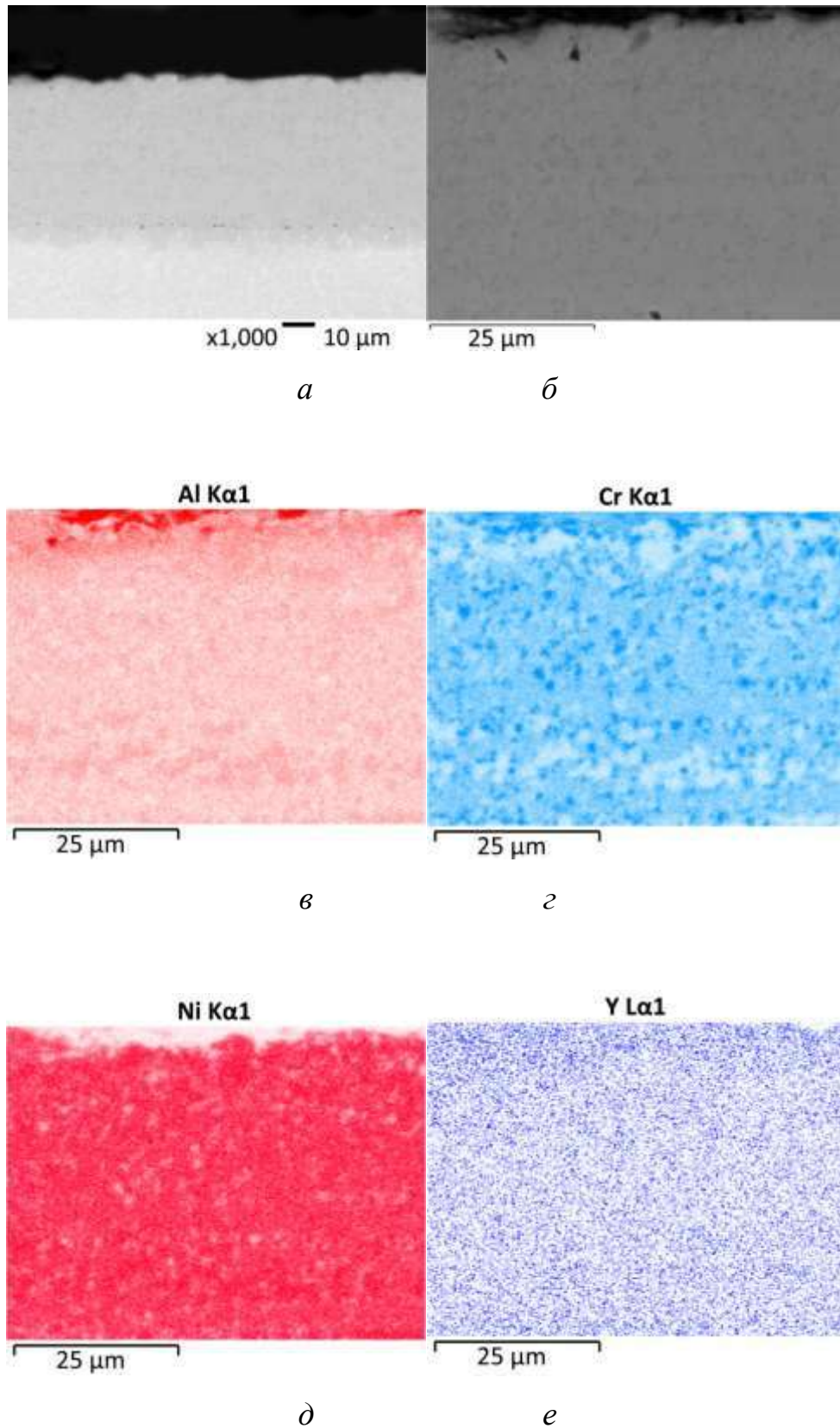


Рисунок 3.4. – Мікроструктура і розподіл елементів у покритті (система Ni–Cr–Al–Y): *a*, *б* – мікроструктура покриття; *в* – розподіл Al; *г* – розподіл Cr; *д* – розподіл Ni; *е* – розподіл Y

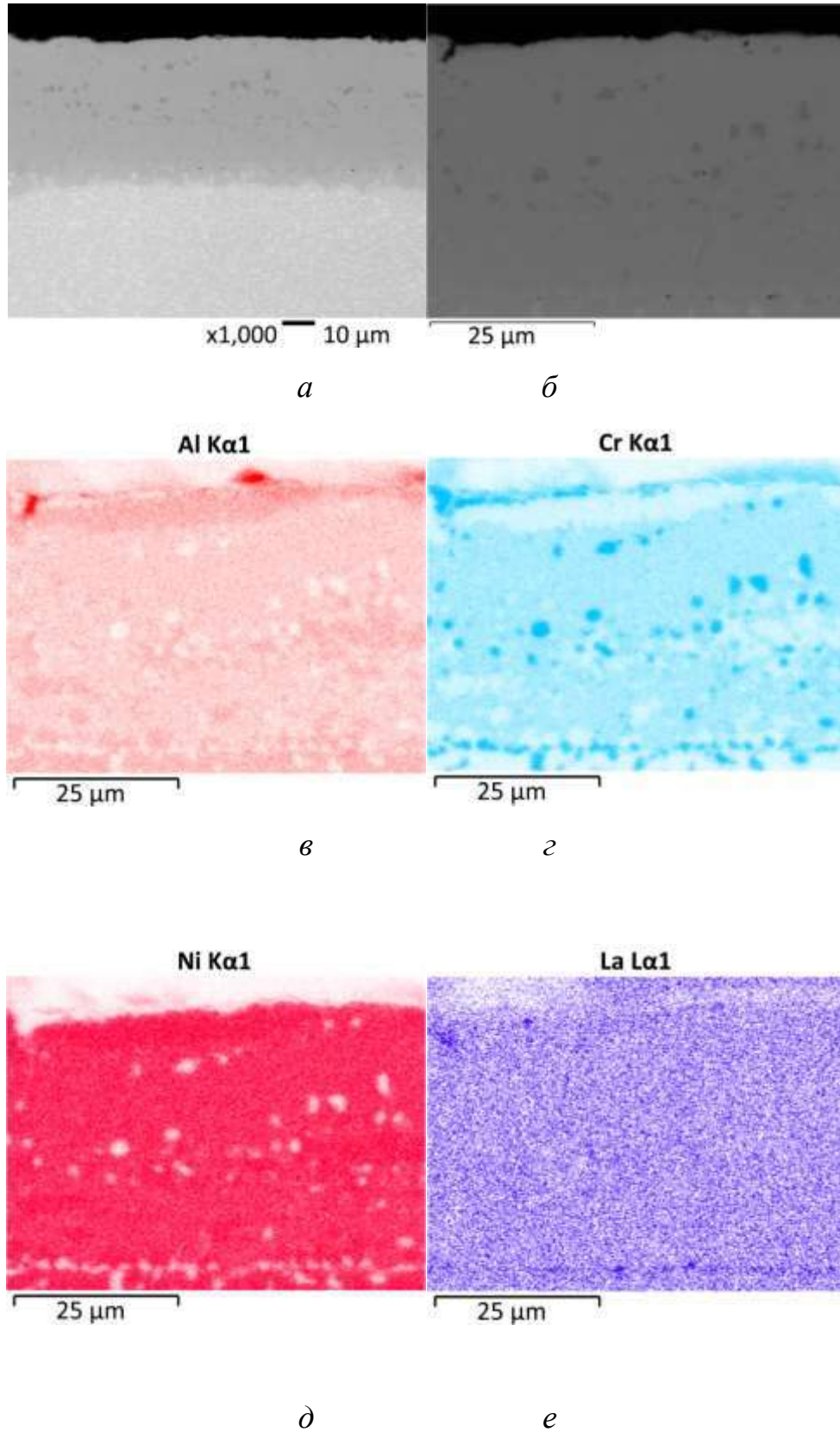


Рисунок 3.5. – Мікроструктура і розподіл елементів в покритті (система Ni–Cr–Al–La): *a*, *б* – мікроструктура покриття; *в* – розподіл Al; *г* – розподіл Cr; *д* – розподіл Ni; *е* – розподіл La

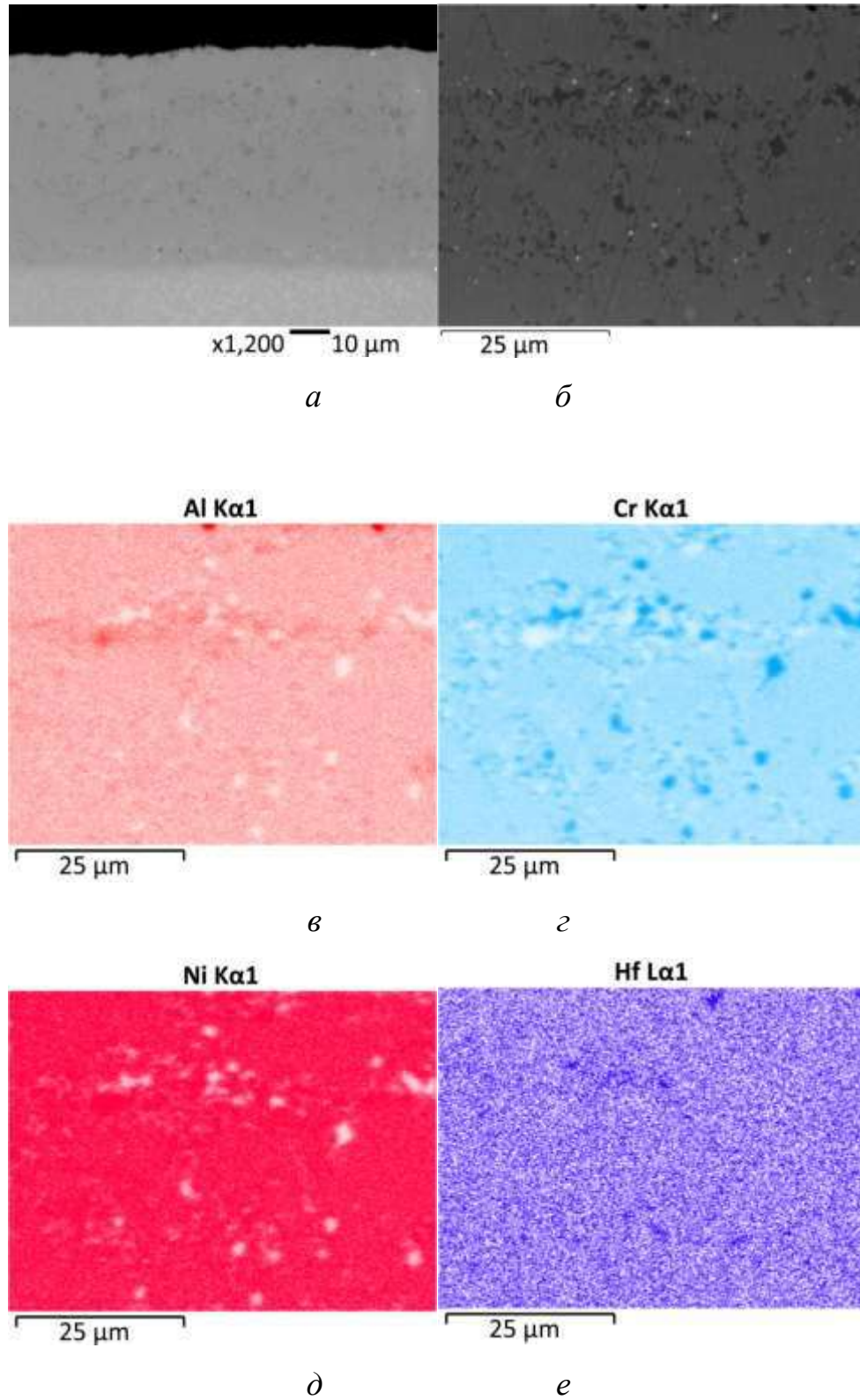


Рисунок 3.6 – Мікроструктура і розподіл елементів в покритті (система Ni–Cr–Al–Hf): *a*, *б* – мікроструктура покриття; *в* – розподіл Al; *г* – розподіл Cr; *д* – розподіл Ni; *е* – розподіл Hf

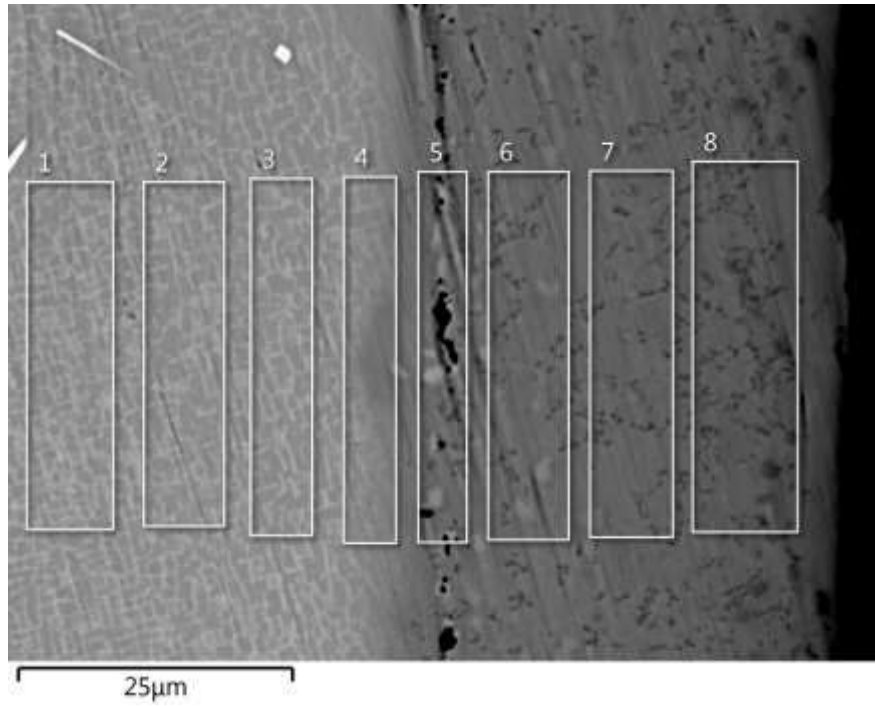
Встановлено, що модифікування Hf дозволяє покращити адгезію матеріалу покриття з підложкою, у порівнянні з Y і La. А найбільш важливе, що модифікування Hf дозволяє добитися максимальної рівномірності розподілу легуючих елементів (рисунок 3.7, в–д) по всій товщині покриття, що наноситься, тобто звести негативний вплив процесів ліквідації до мінімуму. Показано, що в зразках, модифікованих Hf, рівномірність розподілу Cr не поступається зразкам з Y. Усе вищесказане позитивно відображається на технологічних параметрах та рівномірності нанесення, а також експлуатаційних властивостях, наприклад жаростійкості покриттів, модифікованих Hf.

Аналіз результатів, що досягненні, дозволяє зробити висновок, про те, що існує кореляція між однорідністю структури і хімічного складу катодів, які втрачаються, і покриттів, які нанесені з їх використанням. Усі варіанти покриттів характеризуються достатньо високою гомогенністю структури та мінімальною ліквідацією з невеликою перевагою покриттів, що зроблені з використанням катоду легованого Hf. Все це є основою для проведення подальших дослідів, а також досліджень сумісного впливу Hf, La і Y на якість катодів і покриттів, які одержанні.

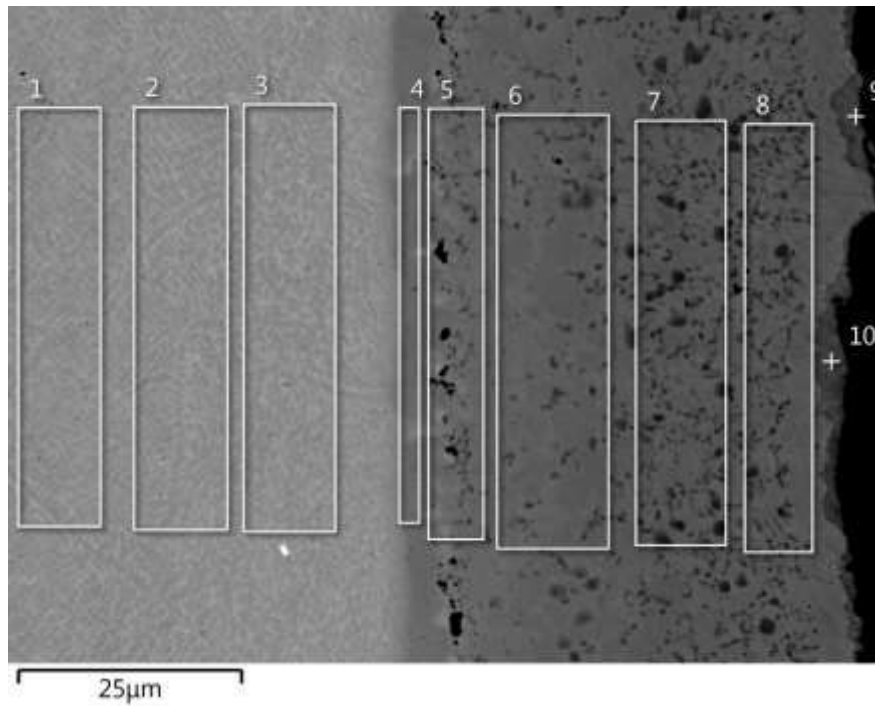
Дослідження покриттів, які були нанесені за серійною і дослідною технологією.

Товщина покриттів для обох технологій однакова і складає від 45 до 50 мкм. Візуальний огляд під біноклем показав, що покриття, що одержанні за серійною технологією (рисунок 3.8, а) і дослідним катодом (рисунок 3.8, б) нанесені рівномірно. Сколов і механічних ушкоджень не знайдено. На поверхні лопаток виявлена краплинна фаза, розміри якої знаходяться у межах від 0,01 до 0,08 мм. (таблиця 3.3).

У покритті, що нанесене за серійною технологією, знайдені локальні ділянки підвищеної пористості, як самого покриття, так і зони його поєднання з матеріалом підложки, що негативно відображається на міцності та експлуатаційних властивостях нанесеного покриття і виробу у цілому.



a



б

Рисунок 3.8. – Зони на покритті, що вибрані для визначення хім. складу: *a* – серійна технологія; *б* – катод дослідного складу

Наявність великої кількості несплошностей, які є різного виду и форми, у перехідній зоні (підложка-покриття) показує незадовільність адгезіоних

властивості матеріалу, що наноситься. Результати РСМА (рисунок 3.8,а) дозволяють знайти наявність значної структурної неоднорідності цього покриття, присутність ликваційних процесів, а також малу глибину дифузного слою.

Таблиця 3.3 – Кількість и розміри крапельної фази на поверхні покриття

Катод	Розмір фракції крапель, кіл-ть в шт.		
	0.01...0.02	0.02...0.04	0.04...0.08
Серійний	142	84	5
дослідний	64	58	3

Упорівнянні с покриттям, що нанесені за серійної технології (звикористанням катодів, що здобути стандартними методами), можна відмітити, що кількість крапельної фази в рази менше, що добре відображається на шорсткості покриттів у цілому. Крім того встановлено значне зменшення пористості покриттів і зони поєднання. Також спостерігається підняття адгезійних властивостей матеріалу, що наноситься, с матеріалом підложки (лопатки), покращення структурної гомогенності покриттів, збільшення перехідної дифузійної зони, а також практично повна відсутність лікваційних явищ (рисунок 3.8,б).

Аналіз рисунку 3.8 з результатами досліджень хімічного складу нанесених покриттів дозволяє зробити висновки про те, що однорідність, дисперсність і гомогенність мікроструктури спостерігається при використанні катодів, які здобути методом вакуумно-дугового переплаву. Можна сказати, що комплексний вплив таких елементів як Y, Hf и La може оказати більш позитивний вплив на гомогенність структури и складу сплаву та усунування лікваційних процесів, що є важливим питанням для подальших досліджень.

3.3 Аналіз результатів металлографічних досліджень

1. Встановлений вплив модифікаторів на процеси структуроутворення і розподілу легуючих елементів. Введення у склад катодів, що витрачаються, на нікелевій основі у вигляді модифікованого елементу Hf дозволяє добитися більшої дисперсності, і, як наслідок, однорідності структури катоду і покриття. Розміри фаз, які складають алюміній і хром, знаходяться в межах від 10 до 80 мкм, що значно менше, ніж розмір аналогічних фаз в катодах, модифікованих Y і La . Морфологія вказаних фаз різна. Структурні складові, які мають алюміній, мають більш правильну подовжену форму без гострих кутів. Це також характерно для катодів, що модифіковані Y і La , але зразки з Hf мають більшу дисперсність (80 мкм проти 200 мкм), однорідність морфології і розподілу за об'ємом матеріалу. Фази з хромом, навпаки, характеризуються широкою морфологією, але у порівнянні з зразком, що має Y і La , зразки, які модифіковані Hf , мають набагато більшу дисперсність і однорідність.

2. Відбулися дослідні процеси наплення захисних покриттів на нікелевій основі. Встановлено, що використання катодів, які створені за дослідною технологією, зменшують кількість крапельної фази на 65 %. Встановлено, що введення елементів, що модифіковані, покращують адгезію покриття з матеріалом підложки на 40 %, зменшує кількість дефектів (у вигляді несплошностей і пор). Використання дослідних катодів дозволяє добитися збільшення товщини покриття, що наноситься, більше 40 мкм (існуюча технологія) до 90 мкм.

4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ДІЛЬНИЦІ

4.1 Характеристика ринку жаростійких матеріалів у зварюванні

Жароміцні і жаростійкі сталі застосовують при виготовленні багатьох деталей газових турбін реактивної авіації, в суднових газотурбінних установках, стаціонарних газових турбінах, при перекачуванні нафти і нафтопродуктів, при гідрогенізації палива, в нагрівальних металургійних печах і багатьох інших установках. Ряд сплавів застосовуються в авіаційній промисловості та знайшов застосування і в інших галузях.

Підприємства авіабудування та авіа-ремонту в Україні:

- державне підприємство «Антонов» (авіабудівна) ;
- державне підприємство «Спеціалізована зовнішньоторговельна фірма «ПРОГРЕС» (ДП СЗТФ «ПРОГРЕС»)) (авіабудівна) ;
- АТ «МОТОР СІЧ» (авіабудівна);
- харківське державне авіаційне виробниче підприємство.

На даний час в загальному обсязі світового виробництва ГТД, в вартісному вираженні, авіаційні двигуни становлять близько 70%, наземні і морські близько 30%.

Обсяг виробництва наземних і морських ГТД розподіляється наступним чином:

- енергетичні ГТД ~ 91%;
- ГТД для приводу промислового устаткування і наземних транспортних засобів ~ 5%;
- ГТД для приводу судових рушіїв ~ 4%.

Основними світовими виробниками авіадвигунів є такі компанії як General Electric (GE), Pratt & Whitney (P & W); Rolls-Royce (RR), Siemens. Аналізуючи розробки і продукцію вище представлених підприємств, можна зробити висновок, що Україна, а саме ДП НВКГ «Зоря-Машпроект» (м.Миколаїв) є одним з провідних підприємств у світі з розробки та

виробництва ГТД для суднобудування, енергетики та газоперекачувальних агрегатів.

Сучасні промислові ГТД енергетичного напрямку виготовляються з повним ресурсом до 100000 і 2500 годин до капітального ремонту. Однак такі зарубіжні двигуни як, наприклад, LM 1600, LM 2500, LM 6000 (компанія виробник GE) має повний ресурс до 160000 і 40000 годин до капітального ремонту, FT8 (компанія виробник P & W) має повний ресурс до 240000 і 50000 годин до капітального ремонту. Що стосується технічних характеристик, то деякі двигуни українського виробництва відповідають своїм аналогам, виробленим за кордоном. Одним з напрямків вітчизняного виробництва двигунів є розробка нових сплавів для виготовлення лопаток турбін.

Сплави повинні працювати в агресивних середовищах і при високих температурах і навантаженнях.

Сьогодні нікель є незамінний компонент багатьох жароміцних матеріалів (суперсплавів), які знаходять своє застосування при виготовленні деталей силових установок для цілей аерокосмічної промисловості. Нікелевий катод користується високим попитом на ринку кольорових металів.

За останні роки кольорові метали набули широкого застосування у металургії. Вироби з кольорових металів та їх сплавів активно використовуються у промисловості, медицині та інших галузях. Значна частина цих металів є хімічно активними, що робить практично неможливим отримання у атмосфері повітря якісних заготовок та виробів шляхом дугового переплаву. Висока спорідненість даних металів до газів (кисню, азоту та водню) при підвищених температурах обумовлює використання у якості захисної атмосфери інертних газів, найбільш розповсюдженими з яких є гелій та аргон.

Найбільший техніко-економічний ефект зварювання сталей в захисних сумішах на основі аргону забезпечує в наступних областях:

- виробництво металоконструкцій,
- виробництво металоконструкцій відповідального призначення, що експлуатуються при негативних температурах і знакозмінних динамічних

навантаженнях;

- багато прохідне зварювання стикових і кутових з'єднань товстолистового металу;
- зварювання швів малого перетину на підвищеній швидкості;
- зварювання виробів на поточних автоматизованих лініях з використанням роботів і автоматів.

Аналіз літературних даних [7], [9] – [13] показує, що дугове зварювання в захисних газах домінує серед інших способів зварювання плавленням, причому, зберігається тенденція заміни ручного зварювання штучними електродами механізованими способами. З цієї точки зору перспективними галузями і очікувані з цим інвестиції, є автомобільна, авіаційна промисловість, швидкісний залізничний транспорт і, в меншій мірі, суднобудування.

4.2 Обґрунтування наукових досліджень

Метою цього розділу є обґрунтування доцільності використання технологічних режимів плавлення катодів на основі внесення Hf (гафнію) до їх складу замість Y (ітрію) La для нанесення спеціальних покриттів на деталі газотурбінних двигунів.

Показано, що введення до складу катодів таких елементів як Y і має схоже вплив на процеси структуроутворення. Встановлено, що при введенні Hf структура отриманих катодів характеризується більшим ступенем однорідності. Також відзначено позитивний вплив Hf на рівномірність розподіл легуючих елементів (Al, Cr) в об'ємі матеріалу в порівнянні зі зразками сплаву модифікованих Y і La.

Показано, що введення Hf дозволило досягти більш високих якісних показників в порівнянні з Y і La. Аналіз структури покриттів показав, що зразки з Hf характеризуються більшим ступенем гомогенності і меншою кількістю дефектів, що особливо важливо при нанесенні покриттів великої товщини (понад 40 мкм). Встановлено, що введення Hf дозволяє наносити покриття товщиною

до 90 мкм. за рахунок отримання менш дефектної структури. Встановлено, що модифікування Hf підвищує адгезію покриття з підкладкою, а також дозволяє досягти максимальної рівномірності розподілу легуючих елементів по всій товщині покриття.

Тобто, при технологічному використанні цих рідкоземельних елементів для нанесення спеціальних покриттів, можна побачити, що практичні результати приблизно однакові, але собівартість цих елементів неоднакова, гафній набагато дешевший.

Техніко-економічні показники зварювання катодів системи Ni-Cr-Al-Y наведено у таблиці 4.1.

Відомо, що катод має базову собівартість $C_1 = 3658,00$ грн.

Для розрахунку собівартості нового виробу C_2 необхідно розрахувати собівартість удосконалення технології зварювання.

Вартість сировини і основних матеріалів розраховується на основі технічно обґрунтованих норм використання на виробництво одиниці виробу, цін відповідних видів матеріальних ресурсів.

При цьому враховуються транспортно-заготівельні витрати. Сума витрат на сировину та матеріали зменшується на величину зворотних відходів, які створюються в процесі виробництва.

Сума витрат на сировину та матеріали зменшується на величину зворотних відходів, які створюються в процесі виробництва. Вартість сировини та основних матеріалів наведена в таблиці 4.2.

Вартість технологічної електроенергії

$$E = T \cdot t \cdot W \quad (4.1)$$

де T – тариф, ціна 1 кВт

t – норма часу на виготовлення 1 катоду

W – міцність основного обладнання

$$E = 2.68 \cdot 3 \cdot 40 = 321 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.1 – Техніко-економічні показники зварювання катодів на основі нікелю системи Ni-Cr-Al-Y та Ni-Cr-Al-Hf

Найменування показника	Базова технологія	Нова технологія
1. Метод зварювання	технології внесення Y до складу катодів для нанесення спеціальних покриттів на деталі газотурбінних двигунів	технології внесення Hf до складу катодів для нанесення спеціальних покриттів на деталі газотурбінних двигунів
2. Норма часу, t шт/год	3	3
3. Програма випуску, шт	500	500

Таблиця 4.2 – Вартість сировини та основних матеріалів

Найменування сировини та основних матеріалів	Норма викори стання	Вартість, 1 грам Y в грн. (за базовою технологією)	Вартість, 1 грам Hf в грн. (за новою технологією)	Ціна, грн
Катод на основі нікелю системи Ni-Cr-Al-Y	1 кг	100 грн		800 грн
Катод на основі нікелю системи Ni-Cr-Al- Hf	1 кг		20 грн	720 грн

Основна заробітна плата основних виробничих робітників на одиницю виробу розраховується на основі трудомісткості виготовлення та часових тарифних ставок.

Розрахунок основної заробітної плати на одиницю продукції наведений в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3– Заробітна платня (розцінка на виготовлення 1 катоду) основних робітників (за базовою та новою технологією).

Найменування операції	Норма часу, н-годин	Розряд робіт	Годинна тарифна ставка, грн.	Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка), грн.
Підготовка зразків (слюсар)	1	4	50	50
Зварювання зразків (зварник)	2	5	75	150
Усього	3			200

Додаткова заробітна плата виробничих робітників виплачується за кількість та якість виконаної роботи. Вона вміщує надбавки і доплати, премії за виробничі результати, оплату чергових та додаткових відпусток та інше. Додаткова заробітна плата складає 40% від основної, та розраховується за формулою

$$ЗД = ЗО \cdot \frac{K_D}{100} = 300 \frac{40}{100} = 120,00 \text{ грн.}, \quad (4.2)$$

де K_D – процент додаткової заробітної плати.

Відрахування на соціальні заходи являють собою форму перерозподілу доходу на фінансування суспільних потреб, розраховуються згідно діючого законодавства і складають 22% від фонду оплати праці. Відрахування на соціальні заходи розраховуються за формулою

$$BC = (3O + 3Д) \cdot \frac{K_{\text{вс}}}{100} = (300 + 120) \frac{22}{100} = 92,40 \text{ грн.}, (4.3)$$

де $K_{\text{вс}}$ – % відрахування на соціальні заходи.

Загальновиробничі витрати вміщують витрати на утримання та експлуатацію обладнання, цехові витрати і послуги виробничого характеру. Витрати на утримання та експлуатацію обладнання вміщують витрати на технічне обслуговування машин і механізмів, витрати на поточний ремонт обладнання, цехового транспорту та інструментів, знос малоцінних і швидкозношуваних приладів, заробітну плату допоміжного персоналу, що складає 200% від основної заробітної плати. Цехові витрати вміщують витрати, пов'язані з поточним ремонтом та амортизацією будівель цеху, заробітну плату керівників і спеціалістів цеху, витрати на охорону праці та техніку безпеки в цеху та інші.

$$ВУЕО = 3O \cdot \frac{\varepsilon}{100} = 300 \frac{200}{100} = 600,00 \text{ грн.}, (4.4)$$

де ε – % витрати на утримання та експлуатацію обладнання.

Загальновиробничі витрати складають в середньому 100% до основної заробітної плати та розраховуються за формулою:

$$ЗВВ = 3O \cdot \frac{\alpha}{100} = 300 \frac{100}{100} = 300,00 \text{ грн.}, (4.5)$$

де α – % загально виробничих витрат.

Вищенаведені витрати складають виробничу собівартість.

Адміністративні витрати вміщують витрати, пов'язані з утриманням

адміністративно - управлінського персоналу підприємства, а також утриманням та експлуатацією основних засобів загального виробничого призначення, охорону праці та техніку безпеки персоналу та інші. Адміністративні витрати складають в середньому 100 % від основної заробітної плати основних виробничих робітників та розраховуються за формулою:

$$AB = 30 \cdot \frac{\beta}{100} = 300 \frac{100}{100} = 300,00 \text{ грн.}, \quad (4.6)$$

де β – % адміністративних витрат.

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

$$BZ = C_v \cdot \frac{\gamma}{100} = 3658 \frac{2}{100} = 73,16 \text{ грн.}, \quad (4.7)$$

де C_v – собівартість виробнича, грн.;

γ – % витрат на збут .

Прибуток складає 10 % від повної собівартості і розраховується за формулою:

$$П = C \cdot \frac{P}{100} = 3697 \frac{10}{100} = 369,70 \text{ грн.}, \quad (4.8)$$

де P – рентабельність виробу, %.

Ціна виробу складає $Ц = C + П$, $369,70 + 3697 = 4066,70$ грн.

Калькуляція собівартості наведена в таблиці 4.4.

Для виготовлення катоду за базовою технологією: вага $V_1=2\text{кг}$, повна собівартість $C_1=3658,00$ грн, та програмою випуску $N=4$ шт з яких 1 шт., тобто 25% відбраковується.

Для виготовлення катоду за новою технологією : $V_2=2\text{кг}$, $C_2=3697,00$ грн, $N=4$ шт. без браку.

За рахунок підвищення якості катодів та використання нової технології, зменшується відсоток браку. Наприклад: за тиждень за старою технологією буде виготовлено 20 шт. катодів, з яких 5 шт. будуть з дефектами. А за новою технологією всі 20 катодів будуть належної якості.

Розраховується економічна ефективність проекту за такими показниками:

- економія витрат в виробництві;
- економія експлуатаційних витрат;
- питомі показники ефективності;
- беззбитковість виробництва;
- термін окупності додаткових капітальних вкладень;
- оцінка доцільності інвестицій (капітальних вкладень) в інноваційний проект.

Економія витрат в виробництві розраховується на основі економії конкретних видів матеріальних, трудових та інших ресурсів.

Звідси ми можемо розрахувати економічний ефект від впровадження нової розробки:

$$E = ((C_1 \cdot K_{e.p}) - C_2) \cdot N + 1, \text{ грн; ,} \quad (4.9)$$

де C_2 – повна собівартість;

$K_{e.p}$ – коефіцієнт економічного ресурсу;

C_1 – собівартість до удосконалення.

$$E = ((2634,00 \cdot 1,25) - 2554,00) \cdot 500 = 369250,00 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.4 – Калькуляція виробничої собівартості виготовлення катоду

Статті витрат		Сума, грн. базова технологія	Сума, грн. нова технологія
1	Сировина і основні матеріали (катод на основі нікелю системи Ni-Cr-Al-Y та Ni-Cr-Al-Hf)	800,00	720,00
2	Електроенергія (2,68грн×3год×40кВт) $E = T \times t$ шт	321,60	321,60
3	Основна заробітна плата основних виробничих робітників $ЗО = ГТС \cdot N_{\text{час}}$	300,00	300,0
4	Додаткова заробітна плата основних виробничих робітників $ЗД = ЗО \cdot \frac{K_{\text{д}}}{100}$	120,00	120,0
5	Відрахування на соціальні заходи з заробітної плати основних виробничих робітників $ВС = (ЗО + ЗД) \cdot \frac{22\%}{100}$	92,40	92,40
Витрати на утримання та експлуатацію обладнання $ВУЕО = ЗО \cdot \frac{\varepsilon}{100} = 300 \cdot \frac{200}{600} = 600,00$		600,00	600,0
7	Загальновиробничі витрати $ЗВВ = ЗО \cdot \frac{\alpha}{100}$	300,00	300,0
8	Адміністративні витрати $АВ = ЗО \cdot \frac{\beta}{100}$	300,00	300,0
Усього виробнича собівартість		2634,00	2554,00

Беззбитковість виробництва вміщує розрахунок критичного обсягу виробництва продукції, Точка беззбитковості наводиться на графіку.

Математично точка беззбитковості (ВЕР) може бути очевидно визначена за формулою:

$$ВЕР = \frac{FC}{P - AVC} \text{ (одиниця продукції)} \quad (4.10)$$

Величина $(P - AVC)$ носить назву питомої (на одиницю продукції) маржинальної прибутку. Якщо відома її частка (норма) в ціні виробу, точка беззбитковості може бути розрахована (в грошовому вираженні) наступним чином:

$$ВЕР = \frac{\text{Постійні витрати}}{\text{норма маржинального прибутку}} \quad (4.11)$$

$$T = \frac{FC}{P_i - V_{Ci}} = \frac{1200}{4066.70 - 2497} = \frac{1200}{1569.70} = 0.76 \approx 1 \text{ шт}$$

$$P - \text{рентабельність виробу} \frac{369.70}{3697} * 100\% = 10\%$$

$$\text{Прибуток} = \text{Ціна}_i * N - \text{Собівартість}_i * N$$

Таким чином можна зробити висновок, що собівартість виготовлення катода за новою технологією яка складає 2634,00 грн, дешевша ніж базова тому що, собівартість Нf (гафній) нижча ніж у Y (ітрію). При незначному збільшенні ціни виробу можемо збільшити прибуток. За рахунок нової технології існує можливість скоротити кількість браку, що дозволяє прогнозувати підвищення якості і в свою чергу зміцнення захисних покриттів. Це позитивно позначиться на ресурсі і працездатності виробів, відповідальних деталей авіаційного призначення.

На даний час в Україні спостерігається розвиток підприємств, які спеціалізуються на ремонті ГТД, при чому не тільки авіа, але й стаціонарних

установок. На 2020 рік ця галузь є прибутковою, а що найголовніше, вона також частково направлена на іноземних замовників, що розширює потенціал даної діяльності. В той же час не треба забувати за науково-дослідницьку базу України в авіасфері, котра також має перспективи розвитку

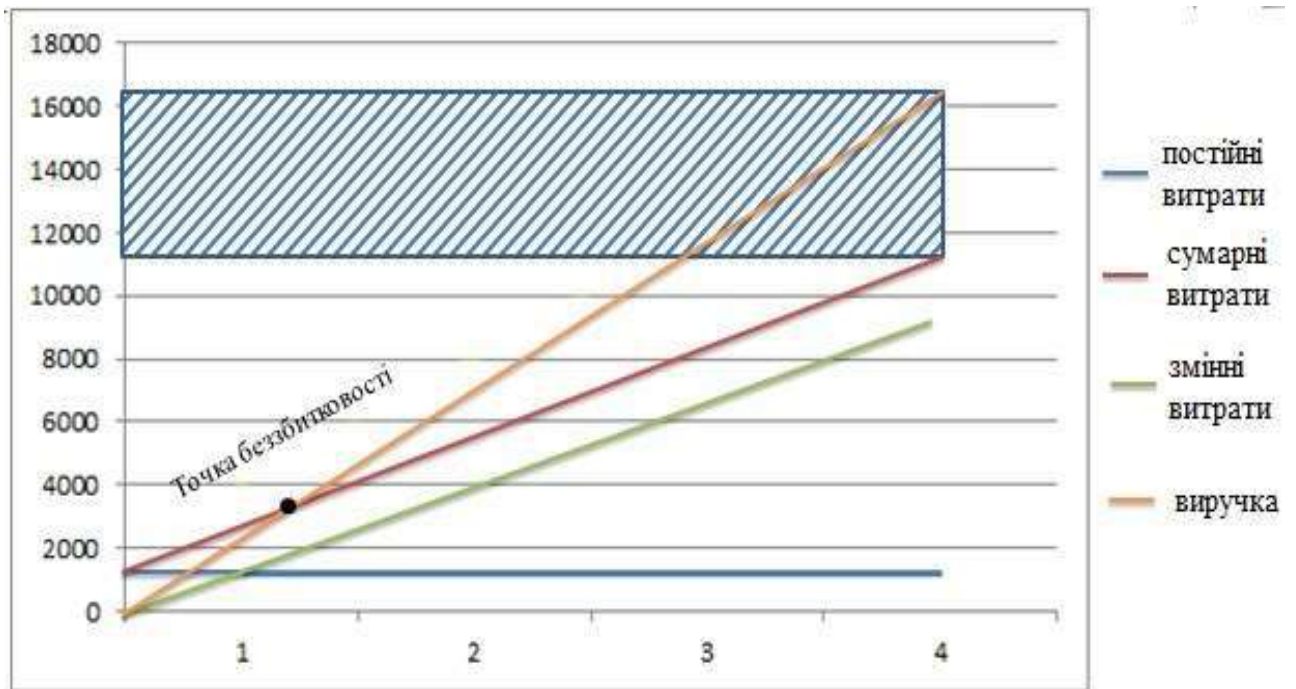


Рисунок 5.1 – Графік точки беззбитковості

Площа прямокутника відповідає обсягу прибутку, а саме $16266,80 - 11188 = 5078,80$ грн

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі надані основні заходи з охорони праці при розробці технології внесення Hf до складу катодів для нанесення спеціальних покриттів на деталі газотурбінних двигунів.

5.1 Аналіз потенційних небезпек

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

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

в) небезпеки, які пов'язані з дробоструминною обробкою на інсталяції КСО-130М «Плазматех», зокрема травмування органів зору при вильоті дробу в зону, де знаходиться дослідник (інструкція ОГТ 3525-2001) [14], що може бути пов'язано з порушенням правил з охорони праці, зокрема невикористання спеціальних засобів захисту;

г) небезпеки при нанесенні покриттів на деталі методом плазмового напилення струмоведучим дротом, зокрема підвищений рівень шуму при роботі плазмотрону, електроофтальмія – потужне ультрафіолетове випромінювання від плазмової дуги, інтенсивне інфрачервоне випромінювання, що може бути пов'язано з порушенням правил безпеки, не використанням індивідуальних

засобів захисту та може призвести до захворювань органів слуху людини, органів зору та шкіри людини.

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

е) можливість опіку, внаслідок непередбаченого торкання нагрітих деталей;

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

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

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

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

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

5.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки

а) для виключення уражень електричним струмом при плазмовому напilenні на інсталяції в дослідницькій лабораторії обладнання повинне відповідати правилам ПУЕ-2013 «Правила улаштування електроустановок» [15], де передбачено:

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

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

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

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

б) для виключення отримання механічних травм повинне бути передбачене проведення усіх необхідних інструктажів з охорони праці, згідно

НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці» [16].

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» [17], або груповими засобами захисту згідно з ГОСТ 12.4.125-83 ССБТ «Средства коллективной защиты работающих от воздействия механических факторов. Классификация» [18], до яких відносять брезентові захисні костюми, рукавиці брезентові, спеціальне взуття із захисними носками, щітки захисні або окуляри.

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

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

Отримання механічних травм найчастіше відбувається внаслідок захащеності робочої ділянки та порушень правил експлуатації машин та механізмів. В зв'язку з цим обов'язковим є щоденний контроль за станом робочої зони зі сторони керівництва відповідно до ДСТУ 3273-95 «Безпечність промислових підприємств. Загальні положення та вимоги» [19].

в) для виключення отримання механічних травм органів зору пов'язаних з використанням обладнання дробоструминної обробки на інсталяції КСО-130М «Плазматех», дослідник повинен виконувати положення інструкції підприємства ОГТ 3525-2001, у яких передбачено використання спеціальних засобів захисту зору, зокрема захисних щіток або окулярів ГОСТ 12.4.011-89 «Средства защиты работающих. Общие требования и классификация» [20].

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

-використовувати антифони(типу ВЦНИИОТ) ГОСТ 12.4.051-87 «Средства индивидуальной защиты органов слуха. Общие технические требования» [21], які захищають слухові органи людини і в той же час дозволяють чути розмовну мову;

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

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

-для захисту зору та лиця необхідно використовувати зварювальні маски або щитки зі світлофільтрами Э-200, Э-300, Э-400 згідно ДСТУ 2456-94 «Зварювання дугове. Вимоги безпеки» [22]. Крім того, рекомендується користуватися окулярами зі світлофільтрами типу В-2, В-3 для краточасної роботи без маски (при запалюванні дуги, перевірці режиму роботи розпилювача).

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

-для захисту шкіри від впливу інтенсивного інфрачервоного випромінювання необхідно використовувати захисні костюми згідно ГОСТ 12.4.045-87 «Костюмы для защиты от повышенных температур. Технические условия» [23].

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

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

-використання індивідуальних засобів захисту – респіраторів згідно з ГОСТ 12.4.028-76 «Система безопасности труда. Респираторы ШБ-1 «Лепесток»» [24]

е) для виключення термічних опіків передбачено використання індивідуальних засобів захисту, зокрема брезентових рукавиць ГОСТ 12.4.010-75 ССБТ «Средства индивидуальной защиты. Рукавицы специальные. Технические условия» [25].

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

Персонал, що працює на комп'ютері зобов'язаний дотримуватися вимог інструкції розробленої на підставі Санітарних норм і правил СанПин 2.2.2.542-96 «Гігієнічні вимоги до відео дисплейних терміналів, персональних електророзрахункових машин і організації робіт» [26], а також нести особисту відповідальність за дотримання вимог безпеки своєї праці і за створення небезпечного чи шкідливого виробничого фактора для інших працюючих і поломку комп'ютера.

При роботі за комп'ютером шкідливими чинниками є:

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

Для забезпечення оптимальної працездатності і збереження здоров'я протягом часу роботи з комп'ютером повинні встановлюватися регламентовані перерви. Перед початком роботи необхідно переконатися, що монітори комп'ютера мають антиблокове покриття з коефіцієнтом відбиття не більше 0,5. Покриття повинне також забезпечувати зняття електростатичного заряду з поверхні екрана, іскріння та неіонізуючих випромінювань. Необхідно перевірити робоче положення комп'ютера відстань між стіною з віконними

прорізами і столом має бути не менше 0,8 м. При невеликій кількості робочих місць бажано розташовувати столи біля протилежної стіни щодо віконних прорізів. Відстань між робочими столами повинна бути не менше ніж 1,2 м. Не допускається знаходження другого робочого місця з боку задньої стінки комп'ютера. Оптимальними параметрами температури в кабінеті є від 19 °С до 21 °С, допустимими 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, чутливі до статичної електрики. Звернути особливу уваги на цілісність ізоляції всіх кабелів та роз'ємів, щоб не виявити несподівано під напругою щодо землі. Забороняється самостійно відкрити комп'ютера, з-за високої напруги всередині. Виключається робота з комп'ютером і його периферійними пристроями з відкритим корпусом, самостійно перемикає силові та інтерфейсні кабелі, проливати рідини і т.д. Робоче місце працюючого на комп'ютері передбачено обладнати спеціальними меблями; обертовим стільцем із змінною висотою сидіння і кута нахилу спинки. При роботі на комп'ютері працюючий повинен бути уважним, не відволікатися на побудову справи.

Під час роботи комп'ютера забороняється:

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

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

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

6.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Кондиціонування – це комплекс технічних заходів, спрямованих на створення і автоматичну підтримку сприятливих кліматичних умов повітря в приміщеннях. Процес кондиціонування залежить від зміни температури зовнішнього повітря та кількості тепла, що виділяється в приміщенні. Для кондиціонування повітря застосовують спеціальні агрегати – кондиціонери. Сучасні кондиціонери є універсальними приладами для забезпечення сприятливих мікрокліматичних параметрів приміщень.

Надлишок тепла залежить від об'єму приміщення і додаткових джерел тепла: інтенсивності сонячного випромінювання, тепловиділення від людей, освітлювальних приладів, оргтехніки тощо. Системи кондиціонування часто

виконують функції припливної вентиляції. В теплий період року вони охолоджують і осушують повітря, в холодний – підігрівають і зволожують. Таким чином системи кондиціонування можуть поєднувати в собі як декілька функцій одночасно, так і виконувати кожну окремо (вентиляцію, охолодження, обігрів, очищення, зволоження, осушення тощо).

Вибір системи кондиціонування та її продуктивності здійснюється на основі розрахунків необхідного повітрообміну для теплого періоду року.

Методика розрахунку надходження теплоти в приміщення:

1) надходження теплоти через заповнення світлових прорізів;

Розрахунок кількості теплоти, яка надходить за рахунок сонячної радіації та внаслідок теплопередачі при різниці температур зовнішнього та внутрішнього повітря:

$$Q_{c.pr.} = (q_0 F_n + q_1 F_p) K_{відн}, \text{ ккал/год} \quad (5.1)$$

де q_0 та q_1 – кількість теплоти, яка надходить до приміщення через світлові прорізи, які опромінюються та не опромінюються прямою сонячною радіацією відповідно: значення q_0 та q_1 визначають за формулами (5.2) – (5.3), ккал / (год·м²);

F_n та F_p – площа заповнення світлового прорізу, яка опромінюється прямою та розсіяною сонячною радіацією відповідно, м²;

$K_{відн}$ – коефіцієнт відносного проникнення сонячної радіації через заповнення світлового прорізу.

При одинарному склінні $K_{відн}$ від 0,9 до 1,0; при подвійному $K_{відн}$ від 0,8 до 0,9.

Кількість теплоти, яка передається сонячною радіацією, залежить від географічної широти розміщення будівель, орієнтації світлових прорізів та часу доби. Зокрема м. Запоріжжя знаходиться на 47°49' півн. ш. Для світлового прорізу, який частково або повністю опромінюється прямою сонячною

радіацією, кількість теплоти розраховується за формулою:

$$q_0 = (q_{в.п.} + q_{в.р.})K_1K_2, \text{ ккал/}(\text{год} \cdot \text{м}^2) \quad (5.2)$$

де $q_{в.п.}$, $q_{в.р.}$ – кількість теплоти прямої та розсіяної сонячної радіації, ккал/(год·м²), (таблиця 5.1);

K_1 – коефіцієнт, який враховує затінення скелення світлових прорізів перепльотами та забруднення атмосфери (таблиця 5.3);

K_2 – коефіцієнт, який враховує забруднення скла (таблиця 5.2).

Для світлового прорізу, який знаходиться в тіні або при затіненні світлового прорізу зовнішніми сонцезахисними конструкціями (відкосами пройому) кількість теплоти розраховується за формулою:

$$q_1 = q_{в.р.}K_1K_2, \text{ ккал/}(\text{год} \cdot \text{м}^2) \quad (5.3)$$

2) виділення тепла від штучного освітлення;

Загально прийнято, що частина енергії, яка витрачається на освітлення, переходить в теплоту, що нагріває повітря приміщення. Виділення теплоти від освітлення, ккал/год:

$$Q_{осв} = 860 \cdot n \cdot N_{осв}, \text{ ккал/год} \quad (5.4)$$

де n – коефіцієнт переходу електричної енергії в теплову; для люмінісцентних ламп $n = 0,5$;

$N_{осв}$ – сумарна потужність джерел освітлення, кВт.

При розрахунках слід пам'ятати правила переведення енергетичних одиниць: 1 кВт=860 ккал/год; 1 ккал/год=1,163 Вт; 1 Вт=Дж/с.

3) виділення теплоти людьми;

Таблиця 5.1 – Максимальні значення кількості теплоти прямої $q_{в.п}$ та розсіяної $q_{в.р}$ сонячної радіації, що надходить до приміщення, розташованого в м. Запоріжжі (47°49' півн. ш.)

оказник	Кількість теплоти при заповненні світлових прорізів в залежності від часу доби та орієнтування світлових прорізів, ккал/(год·м ²)							
	<i>до полудня</i>							
	івн	Πi внСх	х	Π івдСх	І івд	Πi вдЗ		Πi внЗ
	<i>після полудня</i>							
	івн	Πi внЗ		Π івдЗ	І івд	Πi вдСх	х	Πi внСх
в.п	0	42 6	23	3 44	2 57	96		—
в.р	4	93	12	9 5	7 5	66	6	54

Примітка: у випадку відсутності значень надходжень теплоти за рахунок прямої сонячної радіації $q_{в.п}$, розраховуються надходження теплоти за рахунок розсіяної сонячної радіації $q_{в.р}$.

Виділення теплоти та вологи людьми залежить від кількості енергії, яку вони витрачають при роботі, та температури повітря в приміщенні. В таблиці 5.4 наведено середні дані для чоловіків. Жінки виділяють в середньому 85 %, а діти – 75 % від тепла, яке виділяють чоловіки.

4) розрахунок загальної кількості теплоти в приміщенні;

Загальна кількість теплоти в розрахункову годину, яку необхідно відвести за допомогою кондиціонування, визначається сумою теплоти джерел.

Таблиця 5.2 – Коефіцієнт K_2 , який враховує забруднення скла

Забруднення скла	Значення коефіцієнту
<i>Значне</i>	0,85
<i>Помірне</i>	0,9
<i>Незначне</i>	0,95
<i>Чисте скло</i>	1

Таблиця 5.3 – Коефіцієнт K_1 , який враховує затінення скління світлових прорізів перепльотами та забруднення атмосфери

Скління (без перепльотів)	Значення коефіцієнту для світлових прорізів K_1 , за атмосфери		
	Незабрудненої (незалежно від опромінення)	Забрудненої в промислових районах, які в розрахункову годину	
		опромінюються сонцем	перебувають в тіні
Одине	1	0,75	1,75
Подвійне	0,9	0,68	1,58

5) вибір кондиціонера та розрахунок часу охолодження приміщення шляхом кондиціонування

Вибір кондиціонера здійснюється в першу чергу за його розрахунковою потужністю та розмірами приміщення. Рекомендований діапазон потужності кондиціонера має максимально наближатися до розрахованого значення загальних теплонадходжень в приміщення (за можливості прагнуть до виконання співвідношення $Q_{\text{конд}} = (-5...+15) \% Q_{\text{заг}}$). Якщо приміщення має

великі розміри, а загальна кількість теплоти перевищує можливості існуючих кондиціонерів, то встановлюють декілька кондиціонерів.

Таблиця 5.4 – Кількість теплоти, яка виділяється дорослими людьми (чоловіками)

	Кількість теплоти, ккал/год, яка виділяється однією людиною при температурі повітря в приміщенні, °C					
°C	10	15	20	25	30	35
кк	13	10	85	55	35	5
ал/год	0	5				

Тепло надходження і визначається за формулою:

$$Q_{\text{заг}} = Q_{\text{слр.}} + Q_{\text{осв}} + Q_{\text{л}}, \text{ ккал/год} \quad (5.5)$$

Розрахунок часу, необхідного для охолодження приміщення до заданої температури, здійснюється за наступною залежністю:

$$\tau = C \cdot \gamma \cdot V \cdot (t_{\text{вид}} - t_{\text{норм}}) / 3600 \cdot 1,163 \cdot Q_{\text{конд}}, \text{ год} \quad (5.6)$$

де C – масова теплоємність припливного повітря (дорівнює 1000 Дж/(кг·°C);

γ – густина припливного повітря (дорівнює 1,2 кг/м³);

V – об'єм приміщення, м³;

$t_{\text{вид}}$ – температура повітря, що видаляється з приміщення, °C;

$t_{\text{норм}}$ – нормована (оптимальна) температура в приміщенні, яку необхідно досягти шляхом кондиціонування (прийняти рівною 22 °C).

З урахуванням розрахованих показників обирається найбільш

оптимальний тип кондиціонера.

н) освітлення поділяється на природне та штучне. Природне освітлення передбачене однобічне чи двобічне, яке повинно забезпечувати нормоване значення коефіцієнта природного освітлення для певного приміщення. Для зручності передбачені віконні блоки з внутрішнім відкриттям стулок, регульовальні пристрої для відчинення, жалюзі, штори, ролети тощо.

Штучне освітлення робочих приміщень доцільно здійснювати люмінесцентними лампами денного світла. Мінімальна освітленість від одного загального освітлення в горизонтальній площині на висоті 0,8 м від підлоги в лабораторному приміщенні повинна бути не нижче 150 лк при застосуванні ламп розжарювання і 300 лк при застосуванні люмінесцентних ламп.

Крім того, на виробництві застосовують загальне та комбіноване (загальне поєднано з місцевим) освітлення.

Вибір системи освітлення залежить від зорових робіт і визначається за Державними будівельними нормами України (ДБН В.2.5–28–2006 «Природне і штучне освітлення» [27]). При цьому враховується вимога, що при виконанні в приміщеннях робіт I–III, IVa, IVб, IVв, Va розрядів слід застосовувати систему комбінованого освітлення. Використання системи загального освітлення передбачено при технічній неможливості або недоцільності влаштування місцевого освітлення при узгодженні з органами державного санітарного нагляду.

При комбінованому освітленні доля загального повинна складати не менше 10 %. Але використання на виробництві тільки місцевого освітлення заборонено.

У лабораторних та адміністративно-громадських приміщеннях, де переважають роботи з документами, система комбінованого освітлення застосовується обов'язково для досягнення норми 300 лк (додатково до загального освітлення встановлюються світильники місцевого освітлення). Місцеве освітлення кожного робочого місця здійснюється переносними світильниками, що живляться від штепсельних розеток. Світильники повинні

бути улаштовані так, щоб працівник міг змінювати напрям світлового потоку. Застосування тільки світильників місцевого освітлення забороняється (їх необхідно вмикати тільки разом із загальним освітленням).

Підтримка запроектованого освітлення у чистому вигляді забезпечується очищенням (миттям) віконних блоків і світильників не менше 2 разів на рік за графіком, який встановлено на підприємстві

5.4 Заходи з пожежної безпеки

Причинами пожежі при напиленні можуть бути іскри та краплі розплавленого металу, необережне ставлення до газових балонів. Основні вимоги пожежної безпеки викладено в «Правилах пожежної безпеки при проведенні зварювальних та інших вогневих робіт на об'єктах народного господарства» [28]. Для попередження пожеж персонал ділянки повинен виконувати наступні правила:

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

Місця, де виконується напилення, мають бути оснащені вуглекислотними вогнегасниками типу ВВК-5, ящиками з піском, лопатами та совками, бочками чи відрами з водою. Дерев'яні конструкції, розташовані ближче 5 м. від установки плазмового напилення, обштукатурюють або оббивають листовим

азбестом чи листовою сталлю по повсті, змоченій в глинистому розчині. В зоні попадання бризок металу та іскор не має бути займистих предметів. Легкозаймисті та вибухонебезпечні матеріали повинні бути на відстані не менш як 30 м від місця напilenня. Дерев'яні підлоги, настили, помости при потребі захищають від іскор і крапель розплавленого металу листами азбесту чи заліза.

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

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

5.5 Заходи по забезпеченню безпеки в умовах надзвичайних ситуацій

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.

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

ВИСНОВКИ

Досліджено вплив високоактивних, поверхнево-активних модифікуючих елементів як Y, Hf і La на структуру і властивості катодів системи Ni–Cr–Al, які використовуються для нанесення жаростійких покриттів робочих лопаток газотурбінних двигунів. Y, Hf і La вводяться з метою формування нанорозмірних виділень фаз, що стабілізують структуру сплаву.

З метою отримання катодів необхідної якості обраний метод вакуумно-дугового гарнісажного переплаву. Обраний спосіб дозволяє використовувати для виготовлення злитків сировину різної дисперсності (у вигляді порошків або чушок). Підготовку шихти здійснювали шляхом механічного подрібнення матеріалів різними методами (порізка та подрібнення).

Показано, що введення до складу катодів таких елементів як Y і La має схоже вплив на процеси структуроутворення. Встановлено, що при введенні Hf структура отриманих катодів характеризується більшим ступенем однорідності. Також відзначено позитивний вплив Hf на рівномірність розподілу легуючих елементів (Al, Cr) в об'ємі матеріалу в порівнянні зі зразками сплаву модифікованих Y і La.

Показано, що введення Hf дозволило досягти більш високих якісних показників в порівнянні з Y і La. Аналіз структури покриттів показав, що зразки з Hf характеризуються більшим ступенем гомогенності і меншою кількістю дефектів, що особливо важливо при нанесенні покриттів великої товщини (понад 40 мкм). Встановлено, що введення Hf дозволяє наносити покриття товщиною до 90 мкм. за рахунок отримання менш дефектної структури. Встановлено, що модифікування Hf підвищує адгезію покриття з підкладкою, а також дозволяє досягти максимальної рівномірності розподілу легуючих елементів по всій товщині покриття.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. **Симс, Ч.Т.** Суперсплавы II: Жаропрочные материалы для аэрокосмических и промышленных энергоустановок [Текст] / Ч.Т. Симс – М. : Металлургия, 1995. – 384 с.
2. **Масленков, С.Б.** Справочник жаропрочных сталей и сплавов [Текст]/ С.Б. Масленков – М. : Металлургия, 1983. – 192 с.
3. **Ефанов, В.С.** Влияние технологии изготовления катодов на качество покрытий лопаток турбины [Текст] / В.С. Ефанов, В.В. Ключихин, А.А. Педаш, В.Г. Шило // Вестник двигателестроения. – 2018. –№ 1. –С. 132 – 137.
4. **Овчинников, А.В.** Технология выплавки слитков для получения катодов из кобальтового сплава способом дугового переплава [Текст]/ А.В. Овчинников, С.М. Теслевич, Д.Л. Тизенберг, В.С. Ефанов // Современная электрометаллургия. – 2019. –№ 1. –С. 23–27.
5. **Патон, Б.Е.** Электронно-лучевая плавка тугоплавких и высокореакционных металлов [Текст]/ Б.Е. Патон, Н.П. Тригуб, С.В. Ахонин – Киев : Наукова думка, 2008. – 312 с.
6. **Мысик, Р.К.** Литейные сплавы на основе тяжелых цветных металлов [Текст]/ Р.К. Мысик, А.В.Сулицин, С.В.Брусницын – Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2016. – 140с.
7. **Асланян, И.Р.** Современные тенденции развития технологии изготовления модельных композиций для литья жаропрочных сплавов[Текст] / И.Р. Асланян, О.Г. Оспенникова // Фундаментальные и прикладные исследования в области создания литейных жаропрочных никелевых и интерметаллидных сплавов и высокоэффективных технологий изготовления деталей ГТД:научн о-техническая конференция, 2017. – С. 49 – 58.

8. **Горюнов, А.В.** Современная технология получения литейных жаропрочных никелевых сплавов [Текст]/А.В. Горюнов, В.Е. Ригин // Авиационные материалы и технологии. – 2014. – № 2. – С. 3 – 7.

9. **Сидоров, В.В.** Организация производства литых прутковых заготовок из современных литейных высокожаропрочных никелевых сплавов [Текст]/ В.В. Сидоров, В.Е. Ригин, Д.Е. Каблов. // Литейное производство. – 2011. – № 10. – С. 72–75.

10. **Ночовная, Н.А.** Исследование литейных характеристик жаропрочного интерметаллидного титанового сплава ВТИ-4 [Текст]/ Н.А. Ночовная, А.С. Кочетков, К.А. Боков, В.И. Иванов // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2017. № 5.

11. **Свещинский, В.Г.** Сварка сталей в защитных газовых смесях на основе аргона в промышленности Украины [Текст] / В.Г. Свещинский, С.Т. Римский, В.И. Галинич // Автоматическая сварка. – 1994. – № 4. – С. 41–44.

12. **Свещинский, В. Г.** Оценка вязкости разрушения швов, сваренных в защитных газах и под флюсом [Текст] / В.Г. Свещинский, С.Т. Римский, В.И. Кирьян // Автоматическая сварка. – 1982. – № 8. – С. 46–49.

13. **Патон, Б. Е.** Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом с программным регулированием процесса [Текст] / Б.Е. Патон, А.Г. Потапьевский, И.В. Подола // Автоматическая сварка. – 1964. – № 1. – С. 97 – 103.

14. **Патон, Б. Е.** Управление процессом дуговой сварки путем программирования скорости подачи электродной проволоки [Текст] / Б.Е. Патон, Н.М. Воропай, В.Н. Бучинский // Автоматическая сварка. – 1977. – № 1. – С. 34 – 41.

15. **Патон, Б. Е.** Управление плавлением и переносом электродного металла при сварке в углекислом газе [Текст]/Б.Е. Патон, А.В. Лебедев // Автоматическая сварка. – 1988. – № 11. – С. 29 – 35.

16. **Овчинников, А. В.** Технология выплавки слитков для получения катодов из кобальтового сплава способом дугового переплава [Текст] / А.В.

Овчинников, С.М. Теслевич, Д.Л. Тизенберг, В.С. Ефанов // Современная электрометаллургия – 2019. – № 1. – С. 23 – 27.

17. **Кайдалов, А. А.** Эффективность применения защитных газовых смесей при дуговой сварке сталей [Текст] / А.А. Кайдалов, А.Н. Гаврик // Сварщик. – 2011. – № 4. – С. 28 – 31.

18. Методичні вказівки до економічного обґрунтування дипломного проекту для студентів спеціальності 8.092301 «Технологія та устаткування зварювання», 8.092303 «Технологія та устаткування відновлення та підвищення зносостійкості машин і конструкцій» [Текст] / Укл.: Е.О. Леженко – Запоріжжя: ЗНТУ, 2005. – 24 с.

19. Наказ МНС України № 1192 від 11.09.2012: Про затвердження Правил охорони праці під час роботи в хімічних лабораторіях [Текст]. – зареєстровано в Міністерстві юстиції України 25 вересня 2012 р. за № 1648/21960. – Київ, 2012. – 28 с.

20. Методичні вказівки до практичної роботи «Дослідження вогнегасних властивостей первинних засобів пожежогасіння, визначення їх типів та розрахунків кількості» з дисципліни «Цивільний захист і охорона праці в галузі» для студентів усіх спеціальностей та усіх форм навчання [Текст] / Укл.: А. С. Петрищев, С. М. Журавель – Запоріжжя : ЗНТУ, 2017. – 26 с.

21. **Депутат, О.П.** Цивільна оборона [Текст]: навчальний посібник / І.В. Коваленко, І.С. Мужик; за редакцією В.С. Франчука. – Львів : Афіша, 2000 р. – 336 с.

22. Правила пожежної безпеки в Україні [Текст] : НАПБ А.01.001-14. – На заміну НАПБ А.01.001-04 ; чинний від 2014- 12-30. – К. : МВС України, 2014. – 47 с.

23. Класифікація пожеж (EN 2:1992; EN 2:1992/A1:2004, IDT) [Текст] : ДСТУ EN 2:2014. – На заміну ГОСТ 27331-87; чинний з 01.01.2016 / Мінекономрозвитку України, 2014. – 7 с.

24. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою [Текст] : ДСТУ Б В.1.1-36:2016. –

На заміну НАПБ Б.03.002-2007 ; чинний від 2017-01-01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2016. – 66 с.

25. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги [Текст] : ДБН В.1.1-7:2016. – На заміну ДБН В.1.1.7-2002 ; чинний від 2017-06-01. – К. : Мінрегіон України, 2017. – 47 с.

26. Системи протипожежного захисту [Текст] : ДБН В.2.5- 56:2014. – На заміну ДБН В.2.5-56:2010 ; СНиП 2.04.05-91 (розділи 5 та 22) ; чинний від 2015-07-01. – К. : Мінрегіон України, 2014. – 191 с.

27. Пожежна техніка. Технічне обслуговування вогнегасників. Загальні технічні вимоги [Текст] : ДСТУ 4297:2004. – Чинний від 2004-10-01. – К. : УкрНДІПБ МНС України, 2004. – 49 с.

28. Правила експлуатації та типових норм належності вогнегасників [Текст] – На заміну НАПБ Б.03.001-2004 ; чинний від 2018-02-23. – К. : МВС України, 2018. – 23 с.