

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**Національний Університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Кораблебудівний навчально науковий інститут**

Кафедра Зварювального виробництва

«Допущений до захисту»

В.о. завідувача кафедри

_____ С.В.Драган

«__» _____ 20__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

**на тему: ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗМІЦНЕННЯ КОНТАКТНИХ
ПОВЕРХОНЬ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ**

Виконав: студент групи 6121м

_____ Вдовиченко С.М.
(підпис) (ПІБ)

Керівник роботи:

Професор, к.т.н, професор НУК
(посада, науковий ступень, вчене звання)

_____ Костін О.М.
(підпис) (ПІБ)

Миколаїв, 2023 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний Університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Кораблебудівний навчально науковий інститут

Кафедра Зварювального виробництва

Спеціальність 131 Прикладна механіка

Освітня програма Інжиніринг зварювання та споріднених процесів

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Гарант освітньої програми
_____ С.В.Драган
« ____ » ____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

Студенту Вдовиченко Сергій Миколайович
(Прізвище, ім'я, по батькові)

1.Тема роботи: Вдосконалення технології зміцнення контактних поверхонь лопаток газотурбінних двигунів _____

Керівник роботи Костін Олександр Михайлович, професор, к.т.н.

Затверджені наказом ректора № _____ від « ____ » ____ 20 ____ року

2. Термін подання роботи:

3. Вихідні дані по роботі: Матеріал ЧС 88 У-ВИ, лопатка газотурбінного двигуна, стеліт Х30Н50Ю5Т2 для наплавлення поверхонь лопаток

4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів)

1. Огляд проблем технології зміцнення зносостійкості наплавлення лопаток турбін. 2.Методика проведення досліджень. 3. Склад та технічні властивості сплавів на основі нікелю 4.Охорона праці при нанесенні зміцнюючи матеріалів та оцінка економічної ефективності.

5. Перелік презентаційних матеріалів: склад та властивості нікелевих сплавів, процес виготовлення стеліту, методи проведення досліджень, результати досліджень.

6. Консультанти розділів роботи.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Костін О.М. к.т.н.	02.10.2023	
2	Костін О.М. к.т.н.	09.10.2023	
3	Костін О.М. к.т.н.	16.10.2023	
4	Костін О.М. к.т.н.	23.10.2023	

7. Дата видачі завдання 02.10.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1.	Огляд проблем технології зміцнення зносостійкості наплавлення лопаток турбін	16.10.2023	
2.	Методика проведення досліджень	23.10.2023	
3.	Склад та технічні властивості сплавів на основі нікелю	07.11.2023	
4.	Охорона праці при нанесенні зміцнюючих матеріалів та оцінка економічної ефективності.	20.11.2023	
5.			
6.			
7.			
8.			
9.			
10.			

Студент _____ Вдовиченко С.М.
(підпис) (ПІБ)

Керівник роботи _____ Костін О.М.
(підпис) (ПІБ)

Анотація

В даній магістерській роботі описана проблематика нанесення зміцнюючих матеріалів на поверхню лопаток газотурбінних двигунів (ГТД).

Сутність питання зводиться в необхідності пошуку зміцнюючих матеріалів та технології їх нанесення на нікелевий сплав типу ЧС 88У (матеріал лопаток ГТД) для підвищення експлуатаційних властивостей та робочих параметрів ГТД.

В роботі описується склад, структура та основні властивості нікелевого сплаву ЧС 88 У, а також процес виготовлення стеліту і наплавленні його на контактні поверхності лопаток газотурбінного двигуна.

В практичній частині магістерської роботи виконано та проведено дослідження структурних, технологічних та експлуатаційних властивостей двох стелітів: штатного Х30Н50Ю5Т2, та стеліту зі зменшеним змістом алюмінію Х30Н50Ю3Т2.

По проведеним дослідженням отримані наступні результати:

- стеліт Х30Н50Ю3Т2 зі зменшеним змістом алюмінію є більше технологічним при наплавленні в порівнянні зі штатним стелітом Х30Н50Ю5Т2;

- зносостійкість стеліту Х30Н50Ю3Т2 перевищує аналогічні показники штатного стеліту Х30Н50Ю5Т2;

- корозійна стійкість стелітів майже не змінилась;

- металографічним дослідженням не виявлено дефектів наплавлення стелітів на лопатки ГТД;

- за результатами замірів твердості дослідних матеріалів, стеліт зі зменшеним змістом алюмінію Х30Н50Ю3Т2 не поступається штатному стеліту Х30Н50Ю5Т2.

Результати дослідження, а також розрахунки економічної частини магістерської роботи, вказують на можливість серійного використання стеліту зі зменшеним змістом алюмінію Х30Н50Ю3Т2 для зміцнення поверхонь лопаток газотурбінного двигуна.

					КР.131.6121М.04.00.ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Annotation

This master's thesis describes the problems of applying reinforcing materials to the surface of blades of gas turbine engines (GTD).

The essence of the issue boils down to the need to find strengthening materials and the technology of applying them to a nickel alloy of the ChS 88U type (the material of the gas turbine blades) in order to improve the operational properties and operating parameters of the gas turbine.

The paper describes the composition, structure and main properties of the ЧС 88 U nickel alloy, as well as the process of manufacturing stellite and surfacing it on the contact surfaces of gas turbine engine blades.

In the practical part of the master's work, structural, technological and operational properties of two stellites were studied and carried out: regular X30H50Ю5Т2 and stellite with reduced aluminum content X30H50Ю3Т2. According to the conducted research, the following results were obtained:

- X30H50Ю3Т2 stellite with reduced aluminum content is more technological when surfacing compared to regular X30H50Ю5Т stellite;
- the wear resistance of X30H50Ю3Т2 stellite exceeds similar indicators of regular X30H50Ю5Т stellite;
- corrosion resistance of stellites has almost not changed;
- metallographic research revealed no defects in the surfacing of stellites on the blades of the gas turbine engine;
- according to the results of hardness measurements of experimental materials, stellite with reduced aluminum content X30H50Ю3Т2 is not inferior to regular stellite X30H50Ю5Т2.

The results of the research, as well as the calculations of the economic part of the master's work, indicate the possibility of serial use of stellite with a reduced content of aluminum X30H50Ю3Т2 for strengthening the surfaces of the gas turbine engine blades.

					КР.131.6121М.04.00.ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

<i>ВСТУП</i>	8
<i>РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ПРОБЛЕМ ТЕХНОЛОГІЇ ЗМІЦНЮЮЧОЇ ЗНОСОСТІЙКОЇ НАПЛАВКИ ЛОПАТОК ТУРБІН</i>	9
<i>1.1 Обґрунтування необхідності розробки нового сплаву для зносостійкої наплавки робочих лопаток</i>	9
<i>1.2 Принципи зміцнення ливарних нікелевих сплавів</i>	15
<i>1.3 Роль карбідів у зміцненні нікелевих сплавів</i>	20
<i>1.4 Проблеми зварюваності нікелевих сплавів</i>	23
<i>1.5 Вплив сульфідної корозії</i>	26
<i>1.6. Обладнання та технології нанесення зміцнюючи матеріалів</i>	28
<i>1.7. Методи контролю якості технології наплавлення матеріалів</i>	34
 <i>РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ</i>	40
<i>2.1 Методика виконання випробувань на</i>	40
<i>2.2 Методи дослідження дослідних матеріалів</i>	43
<i>2.3 Методика дослідження мікроструктури дослідних матеріалів</i>	49
<i>Висновки</i>	51
 <i>РОЗДІЛ 3. СКЛАД ТА ТЕХНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СПЛАВІВ НА ОСНОВІ НІКЕЛЮ</i>	52
<i>3.1 Розробка базової системи сплаву</i>	57
<i>3.2 Процес виготовлення стеліту та його властивості</i>	62
<i>3.3. Дослідження та порівняння зносостійкості дослідних</i>	66
<i>3.4. Дослідження експлуатаційних властивостей сплавів</i>	73

Висновки	80
ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ НАНЕСЕННІ ЗМІЦНЮЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ	81
4.1. Охорона праці при нанесенні зміцнюючих матеріалів	81
4.2. Економічна ефективність виготовлення стелітів	91
Висновки	94
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	95
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	96

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Жароміцні нікелеві сплави є основним конструкційним матеріалом в газотурбобудуванні. Ефективність газових турбін суттєво залежить від температури газу перед турбіною. Тому робоча температура жароміцних нікелевих сплавів постійно підвищується. Максимальна температура газу на вході в турбіну з 1027-1177 С (третє покоління) підвищилось до 1527°-1677° С (п'яте покоління). Найбільш високо-теплонавантаженими є соплові та робочі лопатки.

Основною задачею виробництва лопаток сучасних газотурбінних двигунів являється забезпечення їх високою зносостійкістю та жароміцністю, які б забезпечували необхідні характеристики контактних поверхень робочих лопаток газотурбінних двигунів по всьому температурному діапазоні їх експлуатації.

В кваліфікаційній роботі розглядаються робочі лопатки, які виготовляються з ливарних нікелевих сплавів типу ЧС 88У – ВІ, експлуатаційні характеристики яких невисокі, тому виникає необхідність зміцнення контактних поверхонь (бандажних полок) робочих лопаток, турбін матеріалами, які задовольняють критеріям експлуатації двигунів.

Для надання контактним поверхням робочих лопаток необхідних властивостей, а саме твердості та зносостійкості, використовують різні складові та способи зміцнення. Наприклад наплавлення аргоно-дуговою зваркою ливарними прутками стеліту на основі кобальту марки Пр-ВЗК-р . Проте сплави ЧС 88У ВІ відносяться до погано зварювальних, в зв'язку з чим виникають гарячі тріщини, що різко знижує технологічність їх наплавлення. Вирішення даної проблеми полягає в розробці нового матеріалу для зміцнення наплавлення бандажних полок робочих лопаток турбіни, на основі існуючих хромо- нікелевих сплавів та методів їх наплавлення.

					КР.131.6121М.04.00.ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Студент	Вдовиченко				Вступ			Літ.	Арк.	Акрушів	
Керівник	Костін									8	98
Консул.								НУК ім. адм. Макарова			
Н. Контр.											
Зав. каф.	Драган										

1. ОГЛЯД ПРОБЛЕМ ТЕХНОЛОГІЇ ЗМІЦНЮЮЧОЇ ЗНОСОСТІЙКОЇ НАПЛАВКИ ЛОПАТОК ТУРБІН

1.1 Обґрунтування необхідності розробки нового сплаву для зносостійкої наплавки робочих лопаток

Газова турбіна це тепловий двигун безперервної дії, на лопатках якого енергія стисненого і нагрітого газу перетворюється на механічну роботу на валу. В газотурбінному двигуні є компресорні, та турбінні лопатки.

На сьогоднішній день головною проблемою виробництва робочих лопаток сучасних газотурбінних двигунів є забезпечення їх зносостійкістю та жароміцністю які б забезпечували необхідні характеристики контактних поверхонь робочих лопаток газотурбінних двигунів по всьому температурному діапазоні.

Головним напрямком модернізації сучасних та проектування перспективних газо-турбінних двигунів (ГТД) є підвищення їх потужності та ККД, цей шлях неодмінно призводить до підвищення робочих температур та навантажень на лопатки. Підвищення робочих параметрів турбіни викликає пришвидшене зношування лопаток ротору, що може призвести до зниження ефективності установки або навіть її поломки.

Основною причиною зношування робочих поверхонь лопаток турбіни під час тривалої експлуатації є сили тертя, які виникають під час зіткнення їх бандажних полиць. Подібне явище зумовлене впливом динамічних навантажень, які виникають через нерівномірний тиск на лопатки продуктів згоряння палива, а також під час зміни числа обертів ротору на різних режимах роботи двигуна.

В свою чергу підвищення економічності та ресурсу турбін, вимагає розвиток матеріалознавства та створення жаромісних суперсплавів, композиційних та неметалевих матеріалів відповідно нових способів та

					Вдосконалення технології зміцнення контактних поверхонь лопаток газотурбінних двигунів		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Студент		Вдовиченко			НУК ім. адм. Макарова		
Керівник		Костін					
Консул.							
Н. Контр.							
Зав. каф.		Драган					
					Літ.	Арк.	Акрушів
						9	21

технологій їх обробки зварювання та споріднених процесів.

Сучасний ГТД є високотехнологічним і дорогим виробом, тому процедура його ремонту тягне за собою значні фінансові та трудові витрати. В зв'язку із цим надзвичайно актуальним є питання подовження ресурсу роботи двигуна, а також підвищення його ремонтпридатності.

Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є підвищення експлуатаційних характеристик контактних поверхонь робочих лопаток шляхом застосування зміцнюючої наплавки бандажних полиць спеціальним сплавом, який забезпечує високу зносостійкість при високих робочих температурах.

Ще однією перевагою даної технології є можливість її використання під час ремонту двигуна для відновлення робочих лопаток, зношених в процесі експлуатації. Як показує практика, відремонтований двигун не поступається новому, при цьому реальна економія складає 35...70% від вартості нового двигуна.

На підприємствах ДП НВКГ «Зоря-Машпроект» та АО «Мотор Січ» використовується ряд матеріалів, розроблених для зміцнюючої наплавки лопаток турбіни, такими матеріалами є: Пр-ВЗК-р, КБНХЛ-2, ХН50ЮТ, Х30Н50Ю5Т2, ХТН-37, ХТН-61. Всі ці матеріали можна класифікувати за наступними характерними ознаками:

- матеріал основи сплаву (кобальт або нікель);
- температура плавлення (вища або нижча за метал лопатки);
- спосіб нанесення (киснево-ацетиленова наплавка, аргоно-дугова наплавка, високотемпературне паяння).

Хімічний склад зазначених матеріалів, та їх максимальні робочі температури вказані в таблиці 1.1.

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 - Хімічний склад зносостійких високотемпературних сплавів.

	Co	Ni	C	Al	Ti	Cr	Nb	W	B	Mo	Fe	T _{раб.}
Пр-ВЗК-р	осн.	0,1-2,0	1,6-2,0	-	-	28-32	-	7-11	≤0,2	-	3,0	850
ХТН-37	осн.	-	2,5-3,0	0,8-1,0	4,0-5,0	22-24	8,5-9,5	2,7-3,3	-	1,8-2,2	-	1000
ХТН-61	осн.	-	1,95-2,3	0,8-1,2	-	19-21	15-16	2,7-3,3	-	1,8-2,2	-	1100
ХН50ЮТ	-	осн.	1,2-1,6	5,0-6,0	1,5-2,0	≤1	-	-	-	-	0,4	900
Х30Н50Ю5Т2	-	осн.	1,2-1,6	5,0-6,0	1,4-2,1	32-36	-	-	-	-	2	900
КБНХЛ-2	21	осн.		-	-	25	-	-	≤3	-		900

Пр-ВЗК-р являє собою стеліт на основі кобальту, який характеризується високою твердістю (до 48 HRC), зносостійкістю та корозійною стійкістю. Але експлуатаційні характеристики даного сплаву різко знижуються після 650 °С, саме цей факт робить неможливим використання Пр-ВЗК-р для наплавки на бандажні полки лопаток перспективних ГТД.

КБНХЛ-2 – пластифікована суміш порошків нікелю, хрому, кобальту, карбідів та боридів хрому, з якої випікають електроди у вакуумній печі. Наплавку даними електродами виконують ацетилено-кисневим полум'ям. Суттєвим недоліком цієї технології є те, що під час експлуатації відбуваються непередбачувані різкі (пікові) підвищення температури, внаслідок чого відбувається оплавлення даного матеріалу, що призводить до поломки двигуна.

Підприємством «Мотор Січ» спільно із інститутом металофізики НАН України розроблені зносостійкі сплави на кобальтовій основі, леговані тугоплавкими елементами, - ХТН-37 та ХТН-61. Дані сплави є двофазною системою: твердий розчин кобальту + карбідна фаза. Робоча

					КР.131.6121М.04.ПЗ						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							11

температура сплаву ХТН-61 сягае 1100 °С. Пластини з даних сплавів методом високотемпературного вакуумного паяння з'єднують із бандажними полками лопаток, для цього використовуються припої ВПр36 або ВПр24. ХТН-37 та ХТН-61 мають найбільшу зносостійкість з усіх представлених, але технологія їх застосування не відповідає умовам виробництва ДП НВКГ «Зоря-Машпроект».

Для роботи при високих температурах та значних механічних навантаженнях також можуть використовуватися сплави на нікелевій основі, наприклад, ХН50ЮТ та Х30Н50Ю5Т2. Високі показники жароміцності та зносостійкості даних сплавів досягаються за рахунок карбідного та інтерметалідного зміцнення. Однак технологія наплавлення цих сплавів має ряд недоліків. Оскільки вони мають температуру плавлення вищу, ніж метал лопатки, то їх можна наносити лише за допомогою аргоно-дугового зварювання. Під час наплавлення дані матеріали схильні до утворення гарячих тріщин, це вимагає ретельно контролювати тепловиділення, швидкість зварювання та інші технологічні параметри, що значно ускладнює процес та підвищує ризик отримання дефектів у наплавленому покритті.

Аналіз характеристик зазначених матеріалів та способів їх нанесення вказує, що жоден із цих сплавів не задовольняють повною мірою вимогам до техпроцесу зміцнення контактних поверхонь деталей ГТД, які виготовляються на ДП НВКГ «Зоря-Машпроект». В зв'язку із цим виникає необхідність розробки нового жароміцного зносостійкого матеріалу для зміцнення бандажних полок лопаток ротору турбіни.

Перспективний зносостійкий матеріал повинен відповідати наступним критеріям:

- висока жароміцність;
- структурна стабільність у всьому інтервалі робочих температур;
- технологічність поєднання із нікелевими сплавами, із яких виготовляються робочі лопатки;

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

- здатність зберігати щільність поверхні при роботі у високоактивному корозійному середовищі при високій температурі;

- здатність зберігати достатню зносостійкість при високих робочих температурах.

Даним критеріям найбільше відповідають сплави із металічною матрицею, яка містить кристали зміцнюючої фази, які забезпечують мікроармуючий ефект. В даному випадку реалізується відомий принцип гетерофазних зносостійких матеріалів, який полягає в утворенні структури із відносно м'якою матрицею із включенням кристалів твердої фази [1].

Відносно жароміцних дисперсійно-твердіючих нікелевих сплавів ідеологія конструювання зносостійких матеріалів ілюструється схемою, наведеною на рисунку 1.2.

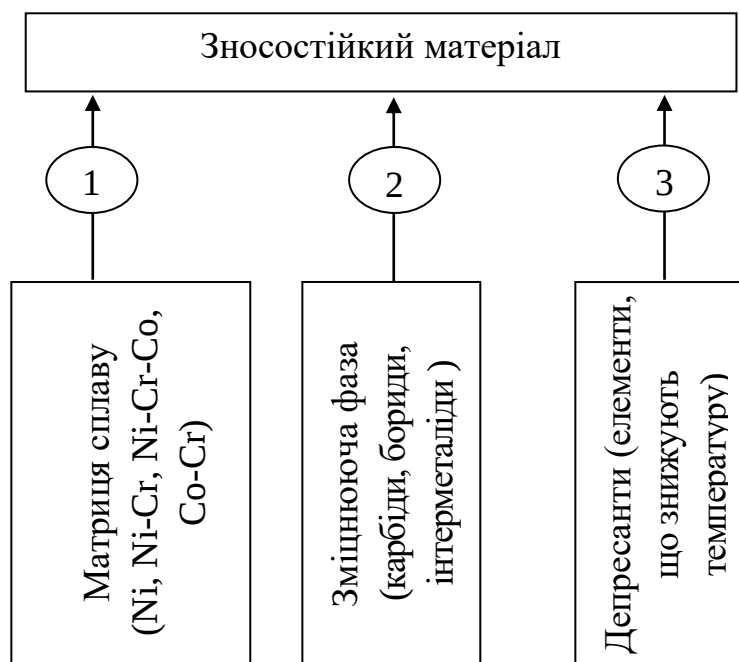


Рис. 1.2 – Схема конструювання зносостійких жароміцних матеріалів

В цілому віддається перевага кобальту [2, 3, 4, 5], який як основа забезпечує більш високі робочі характеристики порівняно із нікелем. Механізм зміцнення реалізується формуванням зміцнюючих інтерметалідних, борідних та карбідних фаз, рівномірність виділення яких залежить від багатьох факторів, в тому числі і від технології нанесення зносостійкого матеріалу.

В якості елементів-депресантів використовуються в основному бор та кремній, які суттєво підвищують технологічність зносостійких матеріалів та одночасно, в силу своєї неметалевої природи, значно обмежують їх ефективну температуру експлуатації.

При високих температурах ($>1000\text{ }^{\circ}\text{C}$) робочі властивості зміцнюючих композицій залежить в основному від стабільності фаз та структури матриці. Важливу роль відіграє дисперсність та рівномірність розподілу зміцнюючої фази по об'єму основи. Такі структури можна отримати під час кристалізації евтектик, саме тому при проектуванні основи сплаву особливу увагу слід приділяти системам, здатним утворювати евтектичні фази.

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Принципи зміцнення ливарних нікелевих сплавів

Для того, щоб розробити правильну методику проектування та побудувати план робіт на створення високотемпературного зносостійкого сплаву, необхідно чітко розуміти структуру та особливості функціонування ливарних жароміцних нікелевих сплавів, які є основним матеріалом робочих лопаток ГТД. В першу чергу необхідно з'ясувати природу механізмів зміцнення цих сплавів, яка дозволяє їм зберігати функціональність при надвисоких температурах.

По суті ЖНС є гетерофазний дисперсійно-твердіючий сплавом, головними структурними складовими якого є γ -фаза (аустенітна матриця із ГЦК граткою переважно на основі нікелю) та γ' -фаза (евтектоїдна інтерметалідна структура на основі $\text{Ni}_3(\text{Al}, \text{Ti})$, яка виділяється з твердого розчину γ -фази). Іншими словами ЖНС – це пересичений твердий розчин γ' -фази в γ -матриці; межа розчинності γ' -фази значно змінюється зі зниженням температури сплаву, що призводить до активного її виділення в дисперсійному вигляді під час спеціальної термічної обробки (старіння).

Для розуміння принципів побудови ЖНС та механізму їх зміцнення необхідно розглянути процеси, які проходять в сплавах при високих температурах та призводять до їх руйнації під дією навантажень.

Робоча температура сучасних турбін сягає більш ніж 950°C за таких екстремальних умов особливого значення набуває явище високотемпературної повзучості сплавів. Повзучість – це безперервна та дуже повільна пластична деформація, яка починається при відносно високих температурах під впливом постійно діючих напружень.

В результаті вивчення даного явища [6, 7, 8] встановлено, що пластична деформація під дією постійного навантаження не лишається сталою, а зростає із впливом часу. Між швидкістю пластичної деформації та напруженнями встановлені закономірні зв'язки, які можна використовувати для розрахунку міцності та надійності вузлів, що працюють в умовах високих температур.

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Механізм повзучості жароміцних нікелевих сплавів залежить від великої кількості факторів, що постійно змінюються, тому його неможливо описати простими залежностями. Типовий графік, що описує зміну швидкості повзучості зображений на рис. 1.3.

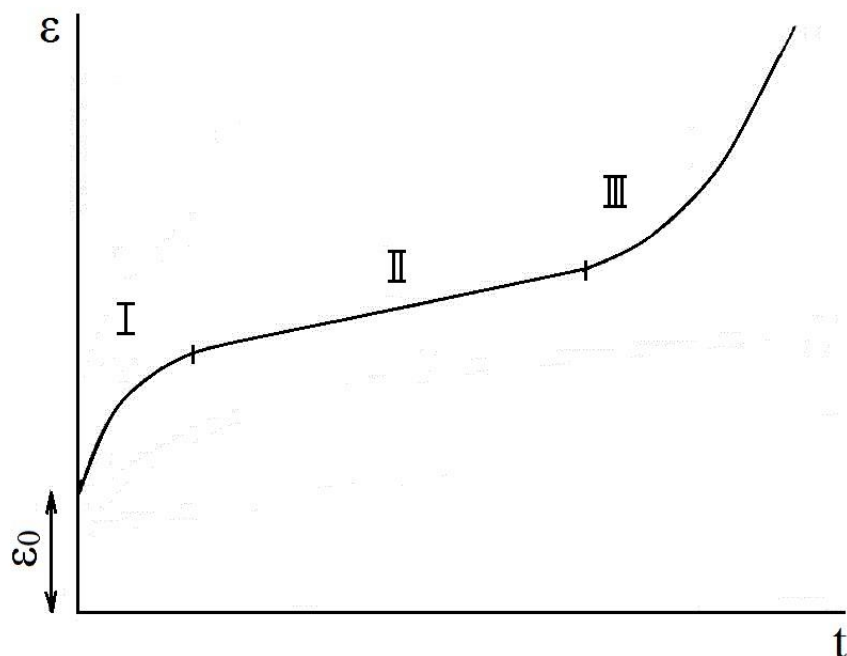


Рис. 1.3 - Типова крива повзучості металів

З даного графіку видно, що процес повзучості в загальному вигляді має три стадії:

I – стадія несталої повзучості, яка включає в себе миттєву деформацію ϵ_0 , що виникає під час навантаження, швидкість повзучості на цій стадії постійно збільшується;

II – стадія сталої повзучості, швидкість повзучості лишається майже незмінною;

III – стадія пришвидшеної повзучості, яка закінчується руйнуванням зразка.

Процеси високотемпературної пластичної деформації сплавів багато в чому залежать від температури та навантажень. На першій стадії повзучості при температурах, наближених до експлуатаційних, спостерігається розщеплення дислокацій та утворення дефектів формування кристалічної

гратки. Утворені в результаті даного процесу парні дислокації перерізають частинки вторинної γ' -фази, при цьому швидкість руху дислокацій помітно знижується, цим пояснюється і загальне зниження швидкості повзучості при її переході від першої стадії до другої, сталої.

Друга стадія повзучості характеризується збільшенням температури, за якої відбуваються процеси ковзання дислокацій, та різкою зміною в механізмі пластичної деформації. Зі збільшенням температури важливу роль набувають процеси дифузії, які прискорюють рух дислокацій, внаслідок чого спостерігається утворення сіток крайових дислокацій. То ж з одного боку прискорення дифузії та коагуляція окремих фаз знижують міцність сплаву, з другого боку – утворення стабільних сіток дислокацій сповільняє їх рух та зменшує кількість вільних дислокацій, тим самим зміцнюючи мікроструктуру. Рівновага цих двох процесів на деякий час призупиняє швидкість розвитку повзучості на другій стадії, що видно із графіку. Швидкість повзучості на даному етапі можна описати рівнянням:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = A\sigma^n \exp\left(-\frac{Q_p}{RT}\right)$$

де A , n – коефіцієнти, Q_p – енергія активації процесу повзучості, R – постійна Больцмана, T – температура.

Таким чином, за екстремальних робочих умов (високі значення σ , T) активуються процеси міграції дислокацій, які в результаті формують надструктури, що слугують зародками тріщин та призводять до руйнування зразка. Тому важливим моментом в процесі забезпечення жароміцності є обмеження руху дислокацій для забезпечення робочих властивостей матеріалу при надвисоких температурах.

Аналіз моделей взаємодії дислокаційних ліній із частинками γ' -фази [8], підтверджений подальшими експериментальними дослідженнями, дозволив зробити певні висновки.

По-перше, існують два механізми зіткнення дислокацій із частинками γ' -фази, перший – перерізання цих частинок рухомими дислокаціями, другий –

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

огинання або переповзання частинок γ' -фази дислокаціями. При чому найбільших показників жароміцності вдається добитися саме при взаємодії дислокацій із γ' -фазою за першим механізмом.

По-друге, після збільшення частинок вторинної фази до певного критичного розміру, дислокації починають обходити їх шляхом огинання та переповзання. В цьому випадку реалізується другий тип механізму взаємодії, як наслідок, жароміцність різко знижується.

По-третє, форма частинок γ' -фази впливає на внутрішні мікронапруження, які також впливають на процеси гальмування руху дислокацій, що призводить до підвищення жароміцності. Морфологія частинок залежить від співвідношення параметрів кристалічної ґратки γ' -фази та γ -фази. Так існує два різновиди дисперсійної γ' -фази: кубічна та сферична. Найбільш ефективною, з точки зору параметрів жароміцності, є саме кубічна морфологія.

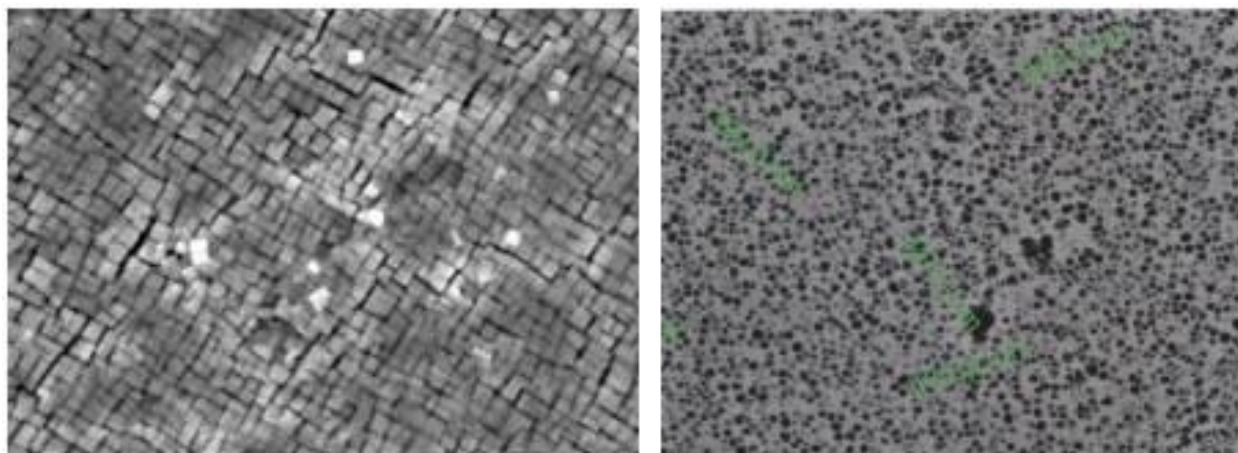


Рис.1.4 - Кубічна та сферична морфологія γ' -фази ЖНС

І ще одним показником, що істотно впливає на рівень жароміцності, є об'ємна кількість виділеної фази на основі інтерметалідів $\text{Ni}_3(\text{Al}, \text{Ti})$. На сьогоднішній день вважається, що величина цього показника на рівні 65% об'ємної долі сплаву дає оптимальне поєднання механічних та експлуатаційних характеристик.

Таким чином, для забезпечення високого рівня жароміцності при зміцненні сплаву на основі нікелю частинками γ' -фази останні мають

відповідати наступним вимогам:

- висока дисперсність (розмір часток не має перевищувати 1-5 мкм);
- велика об'ємна доля частинок γ' -фази (до 65%);
- чітке дотримання співвідношення параметрів кристалічної ґратки, що гарантує необхідну морфологію частинок γ' -фази та їх когерентність із аустенітною матрицею сплаву.

Реалізація цих вимог в процесі зміцнення нікелевих сплавів досягається за рахунок проведення термічної обробки. Параметри та стадії цього процесу підбираються індивідуально для кожного сплаву, але в загальному вигляді можна виділити ряд температурних рівнів, характерних для усієї сукупності жароміцних матеріалів даного класу (розташовані в порядку збільшення температури):

- $T_{н.р.}$ – температура початку розчинення γ' -фази;
- $T_{п.р.}$ – температура повного розчинення γ' -фази;
- $T_{евт.}$ – температура плавлення евтектики γ/γ' ;
- T_s, T_l – температури солідус та ліквідус відповідно.

Суть термічної обробки полягає в нагріванні сплаву до температури гомогенізації T_{Γ} ($T_{п.р.} < T_{\Gamma} < T_{евт.}$), яка становить 1080 °С ... 1250 °С, в залежності від конкретної марки, при цьому знижується рівень нерівномірності розподілу елементів, повністю розчиняється γ' -фаза. Під час наступного нагріву до температури старіння T_c ($T_{н.р.} < T_c < T_{п.р.}$) відбувається виділення дисперсійної γ' -фази із твердого γ розчину, старіння відбувається зазвичай за температури експлуатації. Таким чином реалізується вищеописаний процес зміцнення жароміцних нікелевих сплавів виділенням дисперсних часток γ' -фази.

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

1.3 Роль карбідів у зміцненні нікелевих сплавів

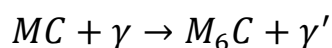
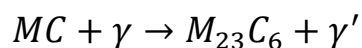
Як було зазначено вище, при високих температурах відбувається спочатку коагуляція зміцнюючої γ' -фази, а при наступному підвищенні температури до $T_{п.р.}$ – її повне розчинення, при цьому значно знижується рівень жароміцності сплаву. Виникає необхідність створення більш термостабільних фаз сплаву.

Карбіди є більш термостабільними порівняно із частинками γ' -фази, тому при температурах вищих за рівень розчинності інтерметалідних виділень важливість карбідів в процесі зміцнення сплавів значно зростає.

Але слід зазначити, що вплив карбідних фаз на експлуатаційні властивості нікелевих сплавів не є однозначним. З однієї сторони, карбіди, які виділяються по границях або всередині зерен, подрібнюють їх, тим самим перешкоджаючи високотемпературній рекристалізації. Таким чином підвищується термостабільність сплавів, гальмуються процеси дифузії, що впливають на рух дислокацій особливо на другій стадії повзучості, - все це збільшує жароміцність та опір повзучості сплавів.

З іншої сторони, грубі виділення карбідів у вигляді безперервної сітки різко знижують пластичність сплаву, виступаючи концентратором напружень на межі зерен. Такі карбідні утворення значно знижують опір руйнуванню та можуть слугувати джерелом зародження тріщин.

Існують три основні типи карбідів, які утворюються в нікелевих сплавах: MC , M_6C , $M_{23}C_6$. Карбіди типу MC є найбільш стабільними та зберігають свою стійкість за надвисоких температур до $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Дані типи карбідів є основним джерелом вуглецю для реакцій, що відбуваються при структурних перетвореннях сплаву. Також взаємодія карбідів MC із γ -матрицею є основою для утворення карбідів інших типів. Карбідні реакції відбуваються за механізмами:

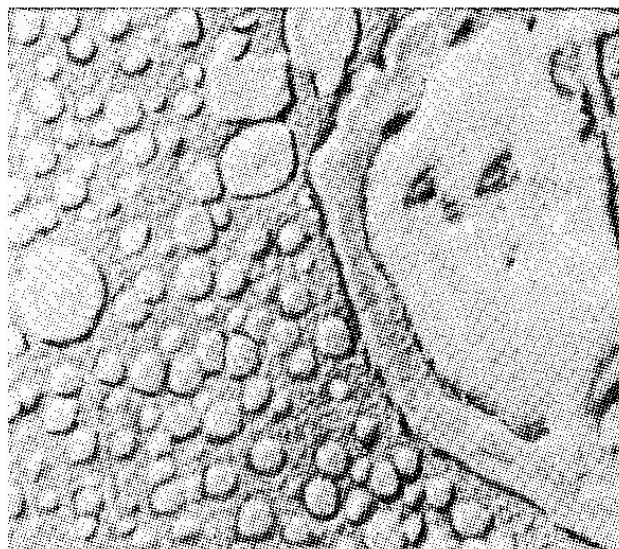


					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

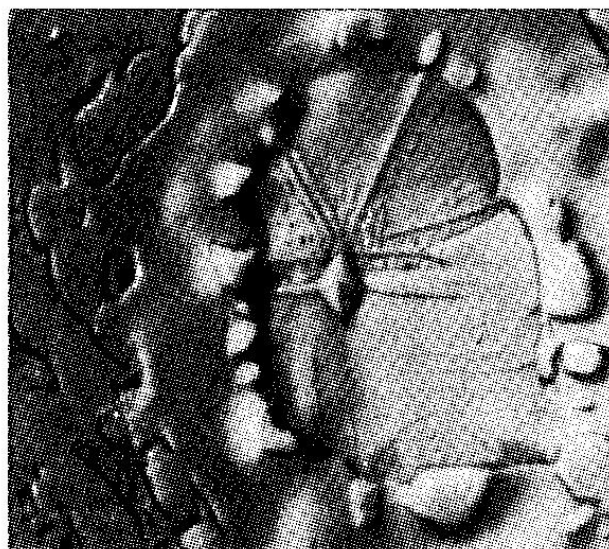
Карбіди $M_{23}C_6$ створюються у сплавах із помірним або високим вмістом хрому в температурному інтервалі 760...980 °С, розташовуються переважно по границях зерен. Існують діаметрально протилежні погляди щодо впливу цього типу карбідів на механічні характеристики сплаву. В роботі [8] зазначено, що, розташовуючись на границях зерен, карбіди $M_{23}C_6$ зупиняють процеси зернограничного ковзання, тим самим позитивно впливаючи на рівень тривалої міцності. Але С.Т. Кішкін [9] стверджує, що особливість розташування цих утворень навпаки зменшує межу тривалої міцності сплаву.

Карбіди M_6C є більш термостабільними ніж $M_{23}C_6$ (при температурах до 1250 °С), цей тип карбідів розташовується як по границях зерен так і всередині них. M_6C мають складну кубічну структуру та є більш корисними в плані зміцнення сплаву, але крупні поліедричні форми цього карбиду, які виникають за евтектичним механізмом безпосередньо з розплаву, можуть стати додатковим концентратором напружень.

Слід відмітити, що один тип карбідних утворень може мати декілька різних структурних форм (морфологій), наприклад, карбіди MC можуть приймати як більш округлу форму, так і явно виражену огранену.



а)



б)

Рис. 1.5 - Округла а) та огранена б) морфології MC карбідів.

Морфологія карбідних утворень переважно залежить від умов кристалізації та особливостей легування сплаву. Так під час уповільненого

охладження утворюються більш грубі та крупні частинки. До речі термообробка є одним із головних важелів впливу на форму карбідних виділень, і таким чином - на процеси зміцнення сплаву.

Характерним прикладом впливу легування є дія таких елементів як тантал та гафній. Легування сплаву танталом призводить до утворення монокарбіду цього елементу, який утворює надміцний зв'язок із матрицею сплаву, таким чином підвищуючи параметри високотемпературної стабільності та міцності. Введення гафнію змінює морфологію карбідних утворень МС типу «ієрогліфів» на полієдричну та створює довкола них специфічну окантовку, яка знижує рівень мікронапружень.

Інші фактори, від яких залежать стабільність тип та морфологія карбідів, це: вміст вуглецю та наявність у сплаві сильних карбідоутворюючих елементів (Ta, Hf, Nb, Ti), а також їх концентрації та присутності інших менш активних карбідоутворювачів (Cr, Mo, W).

Проблема легування сплаву з метою утворення оптимального фазового та структурного складу карбідної фази є досі актуальною та складною. Існують спеціальні розрахункові методики, розроблені для конкретних сплавів, але жодна з них не дозволяє отримати коректні прогнозовані результати для всього класу нікелевих жароміцних сплавів.

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4 Проблеми зварюваності нікелевих сплавів.

Одним з основних способів нанесення захисного зносостійкого сплаву на бандажні полиці лопаток є аргоно-дугове наплавлення. Але зварювання плавленням нікелевих сплавів, різновидом якого є цей вид наплавлення, має ряд технологічних проблем, які необхідно вирішити для забезпечення високої якості покриття.

Характерною особливістю багатьох ЖНС є схильність до високотемпературного міжкристалітного руйнування у біляшовній зоні, що зумовлено широким температурним інтервалом крихкості [10]. Пояснюється це явище особливостями структурної будови та унікальними фізичними параметрами сплавів.

Нікелеві сплави в силу специфіки умов експлуатації володіють рядом характерних теплофізичних та механічних параметрів. По-перше, даний клас сплавів характеризується низьким коефіцієнтом теплопровідності, який знижується зі збільшенням легуючих елементів до 0,2 Вт/(см·К). По-друге, дані матеріали не втрачають міцності за високих температур.

Поєднання даних особливостей призводить з одного боку до зниженої деформаційної здатності та низької пластичності у широкому інтервалі високих температур. З іншого боку при зварюванні нікелевих сплавів в зоні зварювання виникають більш високі тимчасові власні деформації та напруження при високих температурах. У випадку, коли напруження, зумовлені деформацією повзучості, перевищують ресурс пластичності сплаву, виникають гарячі тріщини кристалізаційного типу.

Дія даних негативних чинників підсилюється впливом особливостей будови зварного з'єднання. Так в роботі [11] вказано, що головним геометричним фактором утворення ГТ є товщина зварюваного металу. Оскільки теплопровідність сплаву низька, то найбільша компонента зварювальних деформацій розвивається повздовж осі z зварного з'єднання, тому що в даному напрямку жорсткість зварного з'єднання є найменшою. Така невідповідність розвитку спостережуваної деформації ϵ_n та

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зварювального термічного циклу призводить до виникненню ГТ в площині yz.

Також на пластичні властивості метала, які є головним чинником утворення кристалізаційних тріщин, впливають хімічний склад металу, форма зварювальної ванни, в'язкість рідини та поверхневий натяг на границі розділу фаз.

Існують металургійні та технологічні засоби запобіганню утворенню гарячих тріщин. До металургійних відносять: зварювання в загартованому (аустенітізованому) стані; перестарювання сплавів; гомогенізацію сплавів із уповільненим охолодженням. Технологічні засоби полягають у виборі способу та режиму зварювання, а також складу зварювальних матеріалів.

Тріщини іншого різновиду (термічні) утворюються в ЗТВ на деякій відстані від шва в процесі термообробки. Вони виникають в результаті одночасного поєднання процесів повзучості та дисперсійного твердіння [12]. Причому швидкість твердіння в зварних з'єднаннях суттєво зростає порівняно із основним металом внаслідок високої щільності дислокацій, пересичення вакансіями під час загартування та утворення дефектів пакування.

Як і у випадку із гарячими тріщинами, одним із головних факторів, які негативно впливають на утворення термічних тріщин є сукупна концентрація в сплаві алюмінію та титану і, як наслідок, кількість виділеної γ' -фази. Найбільш схильними до утворення термічних тріщин в процесі термічної обробки є з'єднання із підвищеною жорсткістю, а також сплави із $(\text{Ti}+\text{Al}) > 4\%$.

Одним із засобів боротьби із термічними тріщинами є після зварювальна термообробка. Вона складається із дворазової аустенітизації, яка формує глобулярну структуру карбідів и γ' -фази по границях зерен. Наступне двухстадійне старіння сприяє виділенню γ' -фази в об'ємах зерен та стабілізує структуру для наступної високотемпературної експлуатації, але не змінює морфологію карбідів [7].

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В цілому ж зварювальні напруження, як і релаксаційна здатність жароміцних нікелевих сплавів залежить від легування сплаву алюмінієм та титаном і кількості виділеної внаслідок цього легування γ' -фази. Це виступає головним протиріччям при створенні технології зварювання даних матеріалів: фактор, що на пряму збільшує жароміцність сплаву, є головним чинником зниження його зварювальних властивостей. Саме через низькі зварювальні властивості нікелевих сплавів, перспективною є технологія нанесення зносостійкого покриття методом напаявання, без розплавлення основного матеріалу лопаток.

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.5 Вплив сульфідної корозії.

Ще одним важливим фактором, який впливає на робочі властивості робочих лопаток, окрім температури та навантаження, є робоче середовище. Паливо, яке згоряє під час експлуатації турбіни, є основним джерелом сірки та лужних металів – основних корозійних агентів. Взаємодія нікелевих сплавів з даними елементами при високих температурах призводить до виникнення сульфідно-оксидної корозії. Проявляється ця корозія у вигляді специфічних корозійних утворень (наростів, бугрів, ритвин) на поверхні лопатки, інтенсивний розвиток цих дефектів призводять до руйнування лопатки.

Сульфідкування сплаву відбувається, коли активність сірки у середовищі дорівнює одиниці, а активність кисню – нулю. Окиснення навпаки, відбувається при активності кисню, що дорівнює одиниці, та нульовій активності сірки. За всіх інших поєднань відбувається процес сульфідно-активної корозії. Це підтверджується аналізом відкладень, що утворюються на лопатках в процесі роботи, який вказує на наявність в них сульфатів натрію, калію, кальцію, а також діоксид кремнію, оксиди нікелю, заліза та інших металів.

Кінетика процесу корозії має складний характер і залежить від багатьох факторів: температури, складу середовища, тривалості взаємодії, циклічного навантаження. Головним фактором є температура, сульфідно-оксидна корозія має дві стадії – високо- та низькотемпературну, при чому перехід від однієї до іншої характеризується конкретною температурою $T_{кр}$. Швидкість корозії у високотемпературній зоні набагато вища і приймає «катастрофічний» характер.

В результаті реакцій, що відбуваються на поверхні лопаток, утворюються легкоплавкі з'єднання MoO_3 , $CoSO_4$, Ni_3S_2 , ці з'єднання сприяють утворенню міжкристалітної корозії металу, розвиток якої призводить до утворення міжкристалітних тріщин.

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для описання механізму утворення сульфідно-оксидної корозії запропоновано ряд гіпотез, розглянутий у роботі [13]. Аналіз цих гіпотез дозволяє виробити рекомендації по легуванню, а також розробити методики проектування сплаву [14], здатного тривалий час працювати в умовах агресивного корозійного середовища. Однією з основних проблем при розробці жаростійкого сплаву є встановлення концентрації хрому, оскільки цей елемент є основним компонентом, що забезпечує стійкість проти сульфідно-оксидної корозії, але збільшення його кількості призводить до зниження жароміцних властивостей сплаву.

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.6. Обладнання та технології нанесення зміцнюючі матеріалів

Основні завдання зварювання і наплавлення — це отримання технологічної і експлуатаційної міцності виробів згідно вимог виробництва і нормативних документів.

Мета технологічних процесів та комплексів які використовуються при напавленні, відновленні та зміцненні деталей — одержання виробів з необхідними властивостями при найвищих техніко-економічних показниках.

Наплавлення — це нанесення на поверхні деталей різними методами шару необхідної товщини і потрібного хімічного складу, що має заданий комплекс властивостей (підвищену міцність, зносостійкість, корозійну стійкість і ін.), а також відновлення зношеної поверхні. Наплавлення — один з основних процесів реновації деталей, що дозволяє економити природні і енергетичні ресурси та значно поліпшити екологію.

Для виконання зварювальних робіт потрібно мати комплекс обладнання, що забезпечує при тій чи іншій участі зварювальника отримання швів заданої якості та конфігурації. До цього обладнання виставляються численні та різноманітні вимоги, так як на умови виконання зварювання більше, ніж на будь-який інший технологічний процес обробки металів (різання, кування та ін.) впливають розміри та форми заготовок, якість та точність зборки, а також зміни в процесі роботи розмірів деталей внаслідок теплових деформацій та зміни багаточисленних параметрів режиму зварювання.

Зварювання нікелю та його сплавів.

Нікель є важким кольоровим металом (густина 8,9 г/м³) з температурою плавлення 1453 °С. Він має високу стійкість проти корозії на повітрі, високі пластичність, міцність і жароміцність. Завдяки цим властивостям нікель широко використовується в металургії, хімічній, харчовій, авіаційній та інших галузях.

Зварюють деталі з технічно чистого нікелю (Н-О, Н-1у, Н-1, Н-2, Н-3, Н-4) і його сплавів з міддю, хромом (ніхром), молібденом, кобальтом та іншими металами. Технічний нікель містить 99,8-97,6 % чистого нікелю.

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найшкідливішими домішками при зварюванні є сірка і свинець, які спричиняють утворення тріщин.

Хоч нікель має малу спорідненість з киснем і високу пластичність, зварювання нікелю ускладнюються через низьку стійкість металу шва до кристалізаційних тріщин і пор. Причиною виникнення тріщин є сірка. Щоб послабити вплив сірки, у метал шва додають марганець і магній, які зв'язують сірку в тугоплавкі з'єднання. Для підвищення дрібнозернистості додають титан. Виникнення пор пов'язане з високою розчинністю водню в розплавленому нікелі, а виділення газів спричинює появу пор. Для запобігання виникненню пор зварювання виконують короткою дугою.

Зварювання нікелю і його сплавів виконують дуговим зварюванням у середовищі аргону, покритими електродами під шаром безкисневого флюсу, вугільним електродом із застосуванням флюсів, газовим зварюванням.

Зварювання електродом, що плавиться і неплавиться, в інертних газах є методом дугового зварювання плавленням, який використовується в основному для зварювання алюмінію, магнію та їх сплавів, нержавіючої сталі, нікелю, міді, бронзи, титану, цирконію та інших неферомагнітних металів.

Схема такого зварювання наведена на рисунку 1.6.

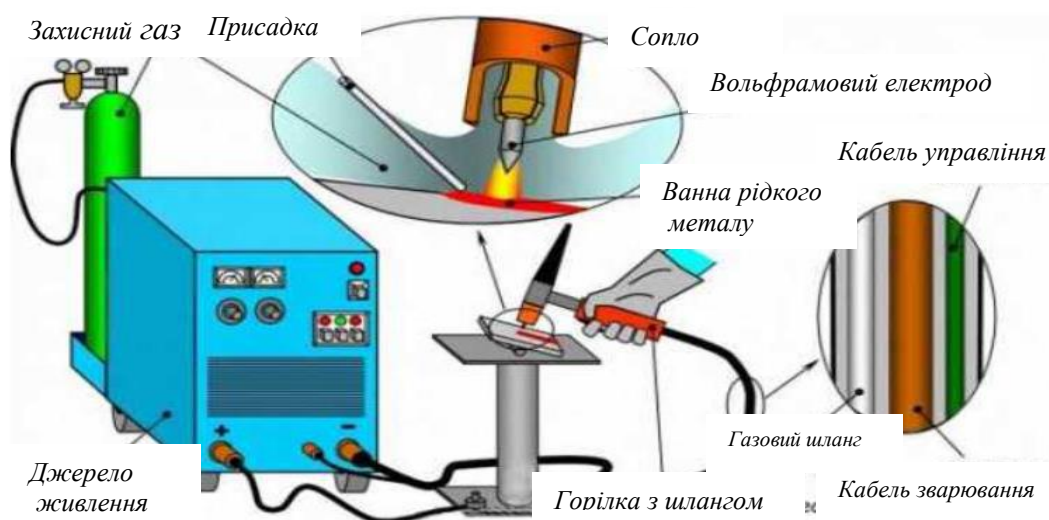


Рис. 1.6 – Схема ручного електродугового зварювання в середовищі захисного газу.

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Техніка зварювання схожа на газове (автогенне) зварювання, отже, потребує висококваліфікованого зварювальника. Застосуванням даного технологічного процесу можна отримати зварні шви та зварні вироби високої якості.

Однак показники продуктивності при використанні цього методу для ручного зварювання, виявляються дуже низькими і не можуть суперничати зі зварюванням плавким електродом в атмосфері захисного газу, особливо із застосуванням зварювальних напівавтоматів або роботів.

Спосіб характеризується двома аспектами. Перший полягає в використанні вольфрамових електродів (рис. 1.7), що неплавляться, які виготовляються з чистого вольфраму або ж вольфрам додають у вибраний сплав. Другий аспект полягає у використанні інертних газів, які захищають як зварювальну ванну, так і власне електрод. У деяких випадках, крім аргону чи гелію використовується водень чи азот.

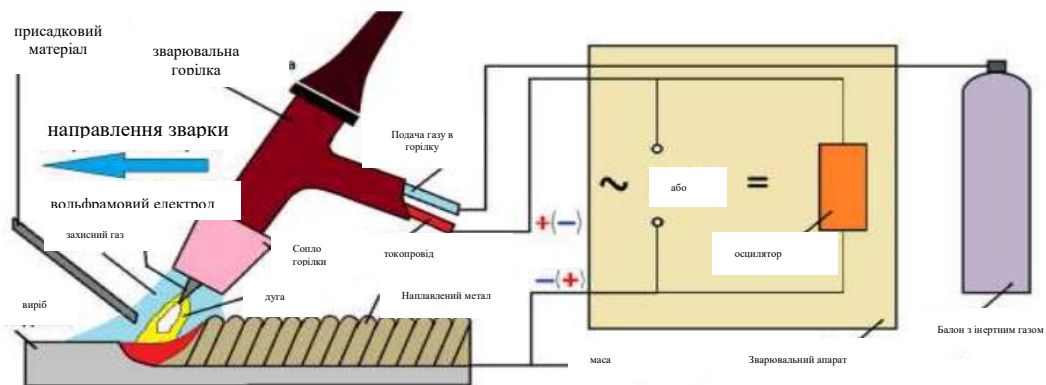


Рис.1.7 – Схема електродугового зварювання в середовищі захисного газу з використання вольфрамового електрода.

При зварюванні електродом, що не плавиться, в захисному газі в зону дуги, палаючої між електродом, що не плавиться, і виробом через сопло подається захисний газ, що захищає електрод, що не плавиться, і розплавлений основний метал від дії активних газів атмосфери. Теплотою дуги розплавляються кромки виробу, що зварюється. Розплавлений метал зварювальної ванни, кристалізуючись, утворює зварний шов.

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Електрод, що не плавиться, виготовляють з графіту, вольфраму, міді, міді із вставкою із тугоплавкого металу - вольфраму, цирконію, гафнію.

Захисний газ повинен бути інертний до металу електрода зварюваного металу. Як захисний газ при зварюванні вольфрамовим електродом застосовують аргон, гелій, суміш аргону та гелію; для зварювання міді мідним електродом або мідним електродом із вставкою з гафнію (цирконію) можна застосувати азот.

До переваг можна віднести:

- мінімальні деформації в металах, що зварюються, через невеликі зони прогріву;
- висока якість з'єднання за рахунок захисту зварювальної ванни аргонном, що витісняє кисень;
- значна швидкість виконання робіт;
- низький поріг входження, що дозволяє швидко освоювати цю техніку;
- не вимагає трудовитрат на пост обробку шва;
- ширший спектр матеріалів, що зварюються в порівнянні з ММА.

Недоліки:

- складність роботи на вулиці під час вітряної погоди; вітер видуває захисний газ із зони зварювання, боротися з цим можна використовуючи загородження або збільшуючи подачу газу, що призведе до його збільшення витрати;
- потрібна якісніша підготовка металів перед зварюванням в порівнянні ММА;
- конструкція пальника робить не дуже зручним зварювання деталей під гострим кутом;
- після розпалювання поза зоною зварювання залишається слід, який необхідно зачищати.

При виконанні швів вольфрамовим електродом можливе попадання у метал шва часток вольфраму.

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найбільш частіша причина руйнування електрода – невірний вибір сили струму. Для отримання якісних, рівних добре сформованих швів необхідно заздалегідь заточувати вольфрамовий електрод. Це виключає переміщення активного полум'я по торцю електрода; шов стає рівніше, без викривлення, з практично однаковою глибиною провару по всій довжині. Зварювання в аргоні та гелії вольфрамовим електродом виконують без присадного дроту (переважно при виготовленні конструкцій з тонколистових сталей) та з присадним дротом, вручну та на автоматі (таблиця 1.1 та 1.2.).

Таблиця 1.1.- Режими ручної дугової зварки вольфрамовим електродом в аргоні

Матеріал	Вид з'єднання та товщина металу мм.	Рід току	I _{СВ} , А	υ _{СВ} , м/ч	Характеристика аргону (витрати 3-4 л/хвилини)
Жароміцні сплави на нікелевій основі	Стик	Постійний Змінний	40- 70 45-60	15-30 7-9	Чистий Чистий

Таблиця 1.2- Режими механізованої зварки вольфрамовим електродом в аргоні (витрати 3,4 л/хвилину)

Матеріал	Тип шву	Товщина металу, мм	Діаметр присадкового дроту	I _{СВ} , А	υ _{СВ} , м/ч	Примітка
Жароміцні сплави на нікелевій основі	Стиковий	1,5	1,5	100	50	Зварювання по присадковому дроту Зварювання без присадки
	Кутовий борт	1,0	-	65	45	
		1,0	-	85	45	

Зварювання вручну необхідно виконувати так щоб кінець присадкового дроту постійно знаходився в струмені захисних газів.

Непоганою відмінністю аргонно - дугової зварки та геліо-дугової зварки являється стабільність дуги. Висока якість зварних швів, обумовлюється

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

надійним захистом зони зварки від повітря, і що особливо важливо можливість накладання швів займаючи вільне положення в просторі. При аргоно-дуговій зварки захист дуги та зварної ванни від повітря більше надійна ніж в разі застосування гелію, так як аргон важче повітря.

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.7. Методи контролю якості технології наплавлення матеріалів

Якість зварювання можна забезпечити за умови, якщо якість вихідних матеріалів (основного металу, електродів, зварювального дроту, захисного газу і т.п.) задовольняє вимогам, що висуваються до них.

Насамперед, встановлюють відповідність сертифікатних даних на всі вихідні матеріали, даним необхідним згідно з технологічним процесом зварювання конструкцій. Потім оглядають матеріали та додатково перевіряють їх якість відповідно до нормативної документації.

Якість зварних з'єднань більшою мірою залежить від справної роботи зварювального обладнання.

Мета та призначення даного виду контролю – забезпечити підтримку зварювального обладнання у робочому стані відповідно до паспортних даних.

Устаткування для дугового зварювання має забезпечувати стійке горіння дуги, необхідну точність та правильність регулювання режиму зварювання ($I_{зв}$, U_d , V_n і т.д.). Ці параметри підлягають ретельній перевірці, щоразу перед пуском обладнання та процесом виробництва.

Значною мірою якість зварного з'єднання залежить від якості використовуваного спеціального оснащення та пристроїв. Складальні пристосування повинні забезпечувати: необхідну міцність та жорсткість; точне, швидке і надійне закріплення елементів зварної конструкції; необхідний ступінь точності всіх розмірів деталей, що зварюються, вузла, виробу; встановлення зварюваного об'єкта в положення, зручне для зварювання тощо.

Велике значення для забезпечення якості продукції, що випускається має контроль у процесі виробництва. Уважне та безперервне спостереження за станом обладнання, апаратури, пристроїв, приладів та інструментів, а також за ходом виконання зварювальних операцій кожним зварником дозволяє своєчасно виявити дефекти зварювання та вжити заходів щодо усунення причин їх утворення.

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Контроль технології виготовлення зварних виробів включає перевірку підготовлених до зварювання заготовок, справності зварювальних пристроїв, збирання виробів під зварювання, стану зварювальних матеріалів, зварювального обладнання та дотримання встановлених режимів зварювання. У підготовлених до зварювання заготовок перевіряють форму, розміри та геометрію обробки кромки, а також відсутність на їх поверхнях забруднень, іржі, вологи.

Перевіряють якість підготовки крайок під зварювання та збирання заготовок. До основних контрольованих розмірів зібраних під зварювання деталей відносять зазор між крайками та притуплення крайок – для стикових з'єднань без обробки крайок, притуплення крайок і кут їх обробки – для з'єднань з обробкою крайок. Для вимірювання та перевірки, зазначених вище параметрів застосовують спеціальні шаблони або універсальний інструмент.

Контроль за зовнішнім оглядом

Зовнішнім оглядом неозброєним оком або за допомогою лупи виявляють насамперед дефекти швів у вигляді тріщин, підрізів, свищів, пропалів, напливів, непроварів у нижній частині швів.

Багато з цих дефектів, як правило, неприпустимі і підлягають виправленню. Під час огляду виявляють дефекти форми швів, розподіл лусочок та загальний характер розподілу металу у посиленні шва.

Зварні шви часто порівнюють на вигляд зі спеціальними стандартами. Геометричні параметри швів вимірюють за допомогою шаблонів та вимірювальних інструментів.

Тільки після зовнішнього огляду виріб піддають будь-яким фізичним методам контролю визначення внутрішніх дефектів.

Ретельний зовнішній огляд - зазвичай дуже проста операція - може, тим не менш, служити високоефективним засобом попередження та виявлення дефектів.

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ультразвукова дефектоскопія

Даний контроль зварних з'єднань відноситься до неруйнівних методів контролю. Він є обов'язковим для виробів, що зазнали термічної обробки. Поверхня виробів має бути підготовлена під проведення неруйнівного методу контролю. Ширина зачистки зварних швів повинна дорівнювати ширині шва плюс не менше 20 мм навколошовної зони з кожного боку. На поверхні, підготовленої під УЗК, не повинно бути зовнішніх дефектів, шлаку, бризок металу, окалини.

Ультразвукова дефектоскопія виробляється з метою виявлення зварних з'єднань внутрішніх дефектів (тріщин, непроварів, пор, шлакових включень та ін.). Ехо-імпульсний метод - це використання відображення ультразвукових хвиль від несплошностей контрольованого виробу, які мають відмінний від основного металу акустичний опір, де змінюється і реєструється відбита хвиля.

Ультразвуковий контроль слід проводити після зовнішнього огляду з'єднання. При виявленні зовнішніх дефектів їх зазвичай усувають до ультразвукового контролю.

Спочатку здійснюється підготовка до ультразвукового контролю, яка включає в себе: вибір основних параметрів контролю та методів сканування, налаштування дефектоскопа за контрольними зразками, очищення поверхні, нанесення контактуючого мастильного матеріалу.

Схема ехо-імпульсного контролю якості зварних з'єднань представлена на рис. 4.9.

Озвучування об'єкта проводиться короткими уривчастими імпульсами. Ознакою дефекту є поява на екрані приймача луна-сигналу.

Ехо-імпульсний метод використовується для контролю всіх основних видів зварних з'єднань

Для УЗК використовуємо імпульсний луна-метод з використанням дефектоскопа УД2-12, рис. 1.8.

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

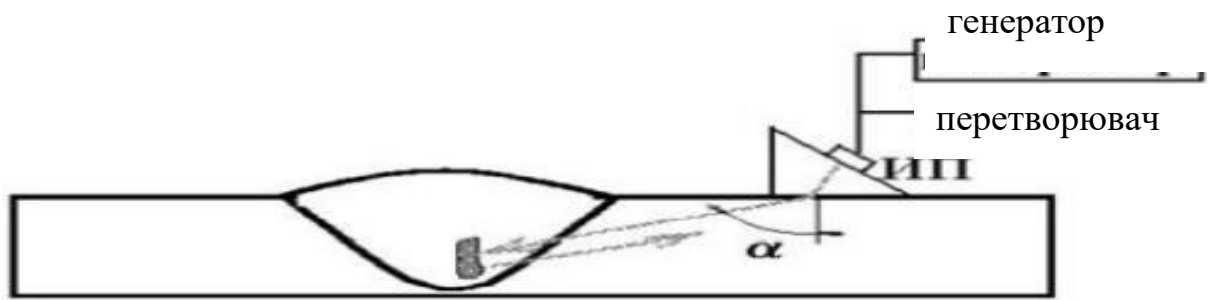


Рис. 1.8 – Схема ехо-імпульсного контролю

Дефектоскоп УД2-12 призначений для контролю продукції на наявність дефектів (порушення суцільності та однорідності матеріалів, напівфабрикатів, готових виробів та зварних з'єднань), вимір глибини та координат їх залягання, вимір відносин амплітуд сигналів від дефектів.



Рисунок 4.10 – Загальний вигляд дефектоскопа УД2-12

Основні характеристики дефектоскопа УД2-12 наступні:

- діапазон товщин контролюваного матеріалу по сталі від 1 до 999 мм по цифровому індикатору та від 1 до 5000 мм по екрану ЕЛТ;
- дефектоскоп експлуатується за температури навколишнього повітря від -10 до 50 0С; 68
- маса дефектоскопа з акумуляторною батареєю – не більше 8,4 кг;
- габаритні розміри – не більше 170х280х350 мм;
- робоча частина екрану ЕПТ дефектоскопа по вертикалі та горизонталі, відповідно 60х80 мм;
- електричне живлення: мережа змінного струму напругою (24 +2,4/-3,6); (36+3,6/-5,4); (220+22/-33) Частотою (50+/-1) Гц;
- автономне джерело живлення – акумуляторна батарея 12 В.

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.8 Висновки, мета та завдання магістерської роботи.

Розвиток сучасного корабельного газотурбобудування ставить певні вимоги перед матеріалами, які використовуються в процесі виробництва ГТД. Провівши аналіз робочих параметрів жароміцних сплавів та особливостей їх структури і особливостей функціонування, можна зробити наступні висновки:

1. Для підвищення ремонтпридатності та робочих параметрів турбіни необхідно впроваджувати технологію нанесення зміцнюючого покриття на контактні поверхні робочих лопаток. Найбільш ефективним способом нанесення даного покриття є наплавка.

2. Особливості структури жароміцних сплавів викликають певні проблеми під час наплавлення. Дугові способи наплавлення мають низькі зварювально-технологічні властивості нікелевих жароміцних сплавів. Метод високотемпературного вакуумного паяння є нетехнологічним.

3. Існуючі матеріали не задовольняють всім технологічним та експлуатаційним вимогам технології зміцнюючої наплавки контактних поверхонь.

Надзвичайно актуальним питанням є пошук нового сплаву, який би з одного боку забезпечував необхідний рівень високотемпературної зносостійкості, а з іншого - не викликав проблем в процесі наплавлення. Розробка подібного матеріалу і є метою даної магістерської роботи. Для досягнення мети проекту необхідно вирішити наступні завдання:

1. Визначити структуру та експлуатаційні властивості сплавів на основі нікелю.

2. Провести дослідження та зробити порівняння властивостей сталі Х30Н50Ю5Т2 та сталі з зменшеним змістом алюмінію Х30Н50Ю3Т2.

3. Дослідити будову мікроструктури розробленого сплаву, виявити структурні особливості окремих фаз та їх вплив на фізичні властивості сплаву.

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Дослідити експлуатаційні властивості сплаву, його зварювально-технологічні властивості. Визначити технологічність нанесення розробленого сплаву відносно основного матеріалу лопаток ГТД.

5. Розробити та експериментально відпрацювати технологію нанесення розробленого сплаву на робочі лопатки турбіни ГТД.

6. Оцінити економічну ефективність технології виготовлення та нанесення зміцнюючих матеріалів на контактні поверхні робочих лопаток газотурбінних двигунів.

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Методика виконання випробувань для визначення параметрів зносостійкості

2.1.1 Проведення досліджень параметрів зносостійкості на спеціальному устаткуванні розробленому в ЗНТУ.

Дослідження зносостійкості виконуються на оригінальному устаткуванні, розробленому в ЗНТУ, яке дозволяє виконувати випробування зразків за складного динамічного навантаження (режим зіткнення із наступним ковзанням у поздовжньому напрямку) із нагріванням зразків в середовищі продуктів згоряння палива типу керосин до необхідних температур. Схематично установка для дослідження зносостійкості зображена на рисунку 2.1.

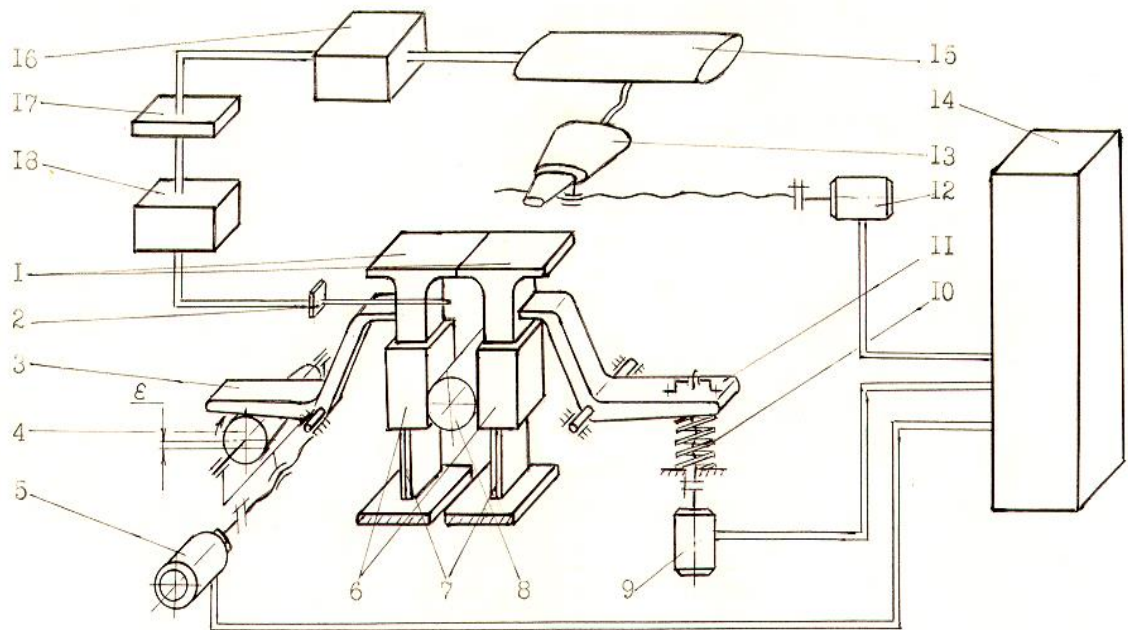


Рисунок 2.1 – Схема установки для дослідження зносостійкості: 1 – зразок; 2 – термопара; 3, 11 – важіль; 4 – кулачок; 5, 9, 12 – шаговий двигун; 6 – державка; 7 – пластинчата пружина; 8 – ролик; ; 10 – пружина; 13 – нагрівач; 14 – стійка ЧПУ; 15 – колектор; 16 – пристрій для регулювання подачі горючої суміші; 17 – перетворювач; 18 – логометр

					КР.131.6121М.04.ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Методика проведення досліджень		
Студент	Вдовиченко						
Керівник	Костін						
Консул.							
Н. Контр.							
Зав. каф.	Квасницький						
					Лім.	Арк.	Акрушів
						40	5
					НУК		
					ім. адм. Макарова		

При цьому є можливість виконувати фізичне моделювання процесів та здійснювати порівняльну оцінку фрикційних параметрів реальних з'єднань в умовах близьких до експлуатаційних.

Умови проведення випробувань: температура - 1150 °С, первинне навантаження - 50 МПа, амплітуда взаємного переміщення - 0,169 мм, час випробувань - 2 години. Для проведення випробувань використовують авіаційний керосин марки ТС-1.

Для виключення можливого впливу температури випробувань на фізико-механічні властивості дослідних матеріалів та результати оцінки зносостійкості випробування зразків відбуваються в контакті лише однією дослідною стороною.

Зносостійкість досліджуваних матеріалів оцінюють за інтенсивністю зношування:

$$J_V = V/N$$

де J_V – об'ємна інтенсивність зношування, мм³/цикл;

V – об'єм зношеного матеріалу (визначається з профілограми зношених зразків), мм³;

N – кількість циклів навантаження (відповідає частоті коливання зразків).

2.1.2. Проведення досліджень параметрів зносостійкості лабораторним методом.

Для проведення досліджень використовують спеціальні зразки циліндричної форми, які наплавляються штатним стелітом та дослідним стелітом.

Лабораторне дослідження зносостійкості матеріалів проводиться на токарному верстаті 1К62.

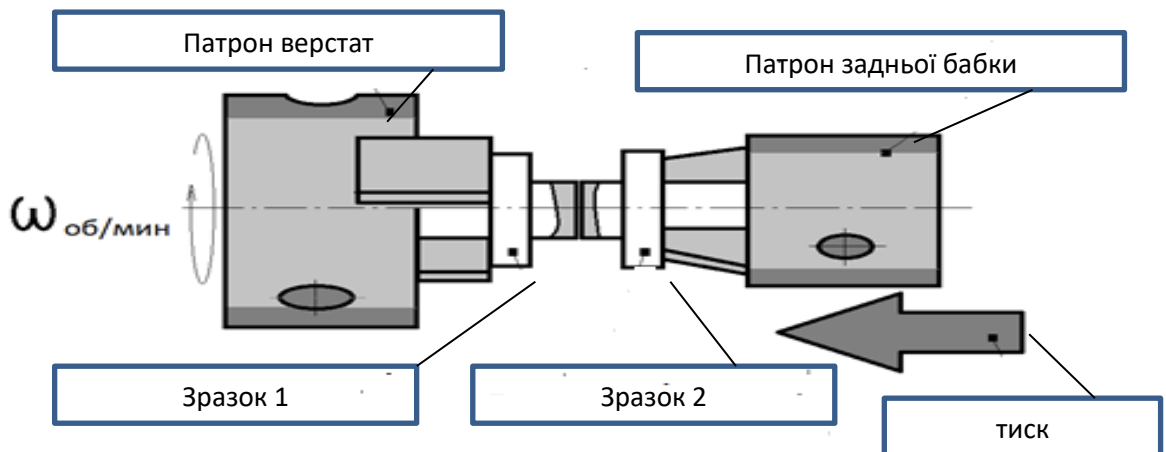


Рис.2.2. Схема проведення дослідження на зносостійкість.

Суть даного методу полягає у визначенні зносостійкості при контакті двох дослідних зразків. Один зразок встановлюється в шпиндель, а другий зразок встановлюється в задню бабку верстата.

Шляхом ручної подачі задній бабки верстата два зразка вступають в контакт. В результаті тертя місце контакту розігрівається до 900°C. Температура вимірюється інфрачервоним термометром RIDGID micro ER100. Витримка під тиском 20 хвилин.

Після чого вимірюються довжини зразків, порівнюючи з первісними розмірами.

2.2 Методи дослідження дослідних матеріалів

2.2.1 Металографічне дослідження дослідних матеріалів

Металографічні дослідження – це комплекс випробувань та аналітичних заходів, спрямованих на вивчення макроструктури та мікроструктури металів. Дослідження закономірностей формування структури і встановлення залежностей впливу структури на механічні, фізико-механічні, електричні та інші властивості металу.

Макроскопічний аналіз структури металів і зварних з'єднань виконується неозброєним оком або із застосуванням лупи, що дає збільшення від 5 до 30 разів.

Макроаналіз дає можливість виявляти: раковини; шлакові включення; порушення суцільності металу; тріщини та інші дефекти будови сплаву; хімічну і структурну неоднорідність; відхилення геометрії шва.

Мікроскопічний аналіз металів і зварних з'єднань полягає в дослідженні їх структури за допомогою оптичного або електронного мікроскопів на спеціально підготовлених зразках.

Методами мікроаналізу визначають форму і розміри кристалічних зерен, виявляють зміни внутрішньої будови сплаву під впливом термічної обробки або механічного впливу на сплав, мікротріщини.

В дипломній роботі мікроаналіз проводився на вертикальному металографічному мікроскопі МІМ-7. З його допомогою можна розглядати мікрошліфи, проводити фотографування мікроструктури.

Загальний вид мікроскопу приведений на рисунку 2.3.

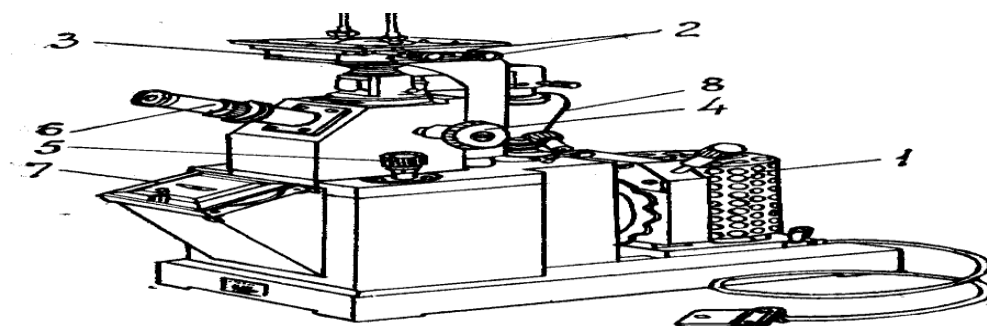


Рис. 2.3. Загальний вид мікроскопу МІМ-7

Мікроскоп МІМ-7 складається з 1 – корпус; 2 – регулювальні гвинти

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

предметного столика; 3 – предметний столик; 4 – макрометричний (грубий) механізм наведення на різкість; 5 – мікрометричний гвинт налаштування різкості зображення; 6 – окуляр; 7 – фотокамера; 8 – апертурна діафрагма

Порядок проведення дослідних робіт:

1. Для дослідження мікроструктури необхідно приготувати мікрошліф. Мікрошліфом називають невеликий зразок металу, який має оброблену поверхню для мікроаналізу.

2 Вибір проби шліфа. Процес підготовки мікрошліфа починається з вирізування з деталі, зливка чи вилівка зразка металу невеликих розмірів. Найзручніші розміри 15х15х 15 мм, або циліндрики діаметром 10-20 мм.

3 Попередня обробка. Після вирізання зразка потрібну для дослідження поверхню необхідно вирівняти, зробити плоскою за допомогою наждачного круга та терпуга.

4. Шліфування. Одержану плоску поверхню зразка шліфують наждачним папером різної зернистості.

Після шліфування на поверхні зразка залишаються абразивні частки, які необхідно стерти спиртом

5. Полірування. Матова поверхня готового до полірування зразка не повинна мати глибоких рисок. При механічному поліруванні застосовуються обертові круги, обтягнені полірувальним матеріалом. Після полірування зразок повинен мати дзеркальну поверхню, вільну від рисок при дослідженні його при будь-якому збільшенні мікроскопа..

5. Травлення. Поверхню полірованого зразка після обстеження під мікроскопом протравлюють для виявлення границі зерен, фазових та структурних складових.

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2.2 Визначення твердості дослідних матеріалів

Твердість - це здатність металу або сплаву чинити опір проникненню в нього більш твердого тіла певної форми і розмірів, яке не отримує залишкової деформації. Найбільш поширені види випробувань засновані на вдавлюванні в випробувану поверхню індентора. Індентор – тіло певної форми: кулі, конуса, піраміди. У цих випадках твердістю, кгс/мм^2 , є відношення навантаження на індентор, кгс , до площі його відбитку, мм^2 , або в умовних одиницях глибини вдавлювання цього індентора. Твердість металевих зразків, можна визначати методом вдавлювання, дряпання по відскакуванню бойка та ін.

В дипломній роботі випробування твердості дослідних матеріалів проводилось за Роквеллом.

Вимірювання твердості металів і сплавів за методом Роквелла здійснюється вдавлюванням алмазного конуса або сталевий кульки з подальшим визначенням твердості по глибині одержуваного відбитка (ГОСТ 9013-59). Алмазний конус з кутом при вершині 120° або сталевий кулька діаметром 1,588 мм ($1/16''$) вдавлюється у випробуваний зразок (виріб) під дією двох послідовно прикладених навантажень – попередньої $P_0 = 10 \text{ кгс}$ і загальною P , що дорівнює сумі попереднього і основного P_1 навантажень (рис. 2.4).

Загальна навантаження P становить 100 кгс при вдавлюванні кульки і 150 або 60 кгс при вдавлюванні конуса.

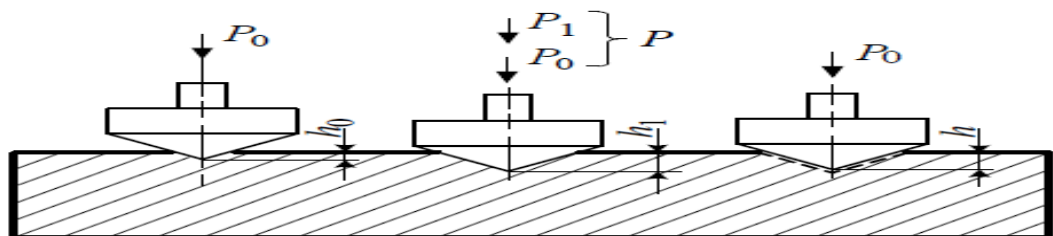


Рис. 2.4. Схема випробувань твердості за Роквеллом

Твердість по Роквеллу виражається абстрактною величиною, яка залежить від глибини вдавлювання h , і може бути визначена за формулою.

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$HR = \frac{k - (h - h_0)}{c}$$

де h_0 – глибина впровадження наконечника під дією попереднього навантаження, мм; h – глибина впровадження наконечника під дією загального навантаження, мм; k – постійна величина, що дорівнює 0,26 мм для кульки і 0,2 мм для алмазного конуса; c – ціна поділки шкали індикаторного приладу, відповідна впровадження наконечника на 0,002 мм

Але в цьому немає необхідності, так як твердість визначається за показаннями приладу. (рис.2.5).



Рис. 2.5. Індикатор

Таблиця 2.1. Навантаження на індентор та діапазони вимірювання твердості

Шкала Роквелла	Навантаження на індентор, кгс			
	попередня	основна	загальна	Діапазон вимірювання
A	10	50	60	70-85 HRA
B	10	90	100	25 -100 HRB
C	10	140	150	20-67 HRC

Твердомір Роквелла (рис.2.6), оснащений індикатором годинникового типу (рис. 2.5), шкала якого поділена на 100 частин. Кожна поділка шкали відповідає осьовому переміщенню індентора на 0,002 мм.

2.2.3 Випробування на корозостійкість дослідних матеріалів

В даній дипломній роботі проводились досліди на високотемпературну солону корозію.

Характеристика методу дослідження

1. Короткочасні випробування замінюють випробування на газодинамічному стенді. Їхня тривалість від 25 годин до 50 годин при температурі 900 °С. Режим випробувань вказується у програмі випробувань.

Випробування необхідно проводити в суміші солей NaCl і Na₂SO₄ у наступному співвідношенні: 25% NaCl і 75% Na₂SO₄.

2. Тривалі випробування моделюють випробування двигунів на стенді із застосуванням дизельного та турбінного палива та введенням солей морської води. Випробування проводять у суміші солей, що складаються з 75 % (78 % Na₂SO₄ ++12% CaSO₄ +10% MgSO₄) та 25% NaCl. Цей склад можна виразити як 75% (Na, Ca, Mg)₂ SO₄ + 25 % NaCl, оскільки домішки сульфатів кальцію і магнію повністю розчиняються в розплаві сульфату натрію.

Тривалість випробувань протягом 200 годин. Температура випробувань від 820оС до 850оС.

3. Метод випробувань передбачає повне засипання зразка «на конус» у корундовому тиглі сумішшю солей заданої навішування (з розрахунку від 4 мм до 5 мм за висотою тигля у розплавленому стані солі).

Узагальнення результатів дослідження.

1.Зразки направляються до металографічної лабораторії для визначення глибини зони внутрішньої корозії.

2.На підставі результатів зважування та даних металографічних досліджень робиться визначення параметрів стійкості досліджуваних сплавів до високотемпературної сольової корозії.

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3 Методика дослідження мікроструктури дослідних матеріалів

Особливості будови мікроструктури визначаються за допомогою методів рентгеноспектрального аналізу (РСА) та растрової електронної мікроскопії.

Метою РСА є встановлення відповідності між атомною структурою дослідного зразка та просторовим розподілом рентгенівського випромінювання, розсіяного зразком. Таким чином метод РСА заснований на явищі дифракції рентгенівського випромінювання. Основною для розрахунків виступає формула Вульфа-Брегга:

$$d = \lambda / 2 \sin \theta$$

де d – відстань між площинами у сукупності кристалічних площин; θ – кут між хвильовим вектором падаючої хвилі; λ – довжина хвилі випромінювання.

В процесі аналізу рентгенівське випромінювання реєструється лічильником імпульсів, який реєструє кількість імпульсів, записаних на рентгенограму за допомогою цифродрукарного пристрою. Після отримання рентгенограми за формулою Вульфа-Брегга вираховується величина d , потім за таблицею проводиться ідентифікація фаз, тобто порівняння власних експериментальних значень міжплощинних відстаней із табличними еталонними значеннями.

В рамках даної роботи рентгеноструктурний аналіз проводився на дифрактометрі ДРОН-3, на трубці з мідним випромінюванням CuKa довжиною хвилі $\lambda_{\text{ср.}} = 1.54178 \text{ \AA}$ із використанням Ni β -фільтру. Обертання зразків в інтервалі подвійних кутів від 30 до 115° при напрузі трубки 45 Кв, струм накалу 30 мА. Швидкість розгортки 1 град/хв та швидкість руху діаграмної стрічки 60 мм/год, шкала приладу встановлювалась на 250 імп/с.

Растрові електронні мікроскопи (РЕМ) із системою мікроаналізу широко використовуються у матеріалознавстві для дослідження поверхні твердих металічних та неметалічних зразків.

Зображення в растровому електронному мікроскопі отримують, скануючи пучком первинних електронів зонду поверхню зразку. Для такого

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сканування в конструкції РЕМ є система відхилення променя, яка складається із електромагнітних котушок, які розштовхують пучок первинних електронів (зонд) із боку в бік. Таким чином, електронний зонд сканує поверхню об'єкту рядок за рядком, формуючи растрове зображення об'єкту.

При попаданні первинного електронного променя в яку-небудь ділянку зразку відбувається вибивання із його матеріалу вторинних електронів і вихід відображених електронів первинного пучка. Обидва види сигналу реєструються відповідними детекторами, які виводять результат на екран монітору. Яскравість зображення ділянки на екрані залежить від кількості виходів електронів. Високий вихід електронів із зразку дає світлу ділянку зображення на екрані, малий вихід відповідає темній ділянці. Величина сигналу визначається струмом зонду, топографією поверхні, елементним складом, кристалографічною структурою та іншими властивостями.

В даній роботі для проведення електронного мікроаналізу використовувався растровий електронний мікроскоп-мікроаналізатор РЭММА 102-02. Типова блок схема даного обладнання зображена на рисунку 2.7.

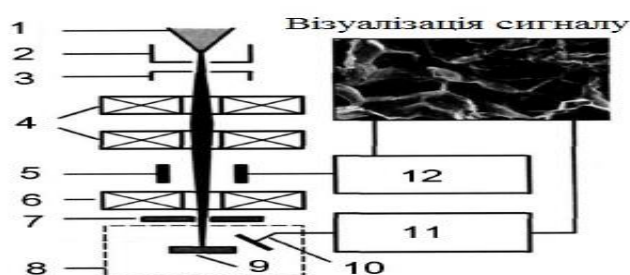


Рисунок 2.7 - Схема растрового електронного мікроскопу: 1 – катод; 2 – керуючий електрод; 3 – анод; 4 – конденсаторні лінзи; 5 – система відхилення електронного променя; 6 – об'єктивна лінза; 7 – діафрагма; 8 – робоча камера; 9 – зразок; 10 – детектор вибитих із зразку електронів; 11 – підсилювач відеосигналу; 12 – генератор сканування.

ВИСНОВКИ

1. Для виявлення стійких зв'язків між будовою дослідного сплаву та його фізичними і експлуатаційними характеристиками необхідно застосувати комплекс науково-дослідних методів, що можуть із необхідною точністю описати мікроструктуру та будову розробленого сплаву.

2. Для вивчення мікроструктури сплаву використовуються методи рентгеноспектрального аналізу та растрової електронної мікроскопії. Ці методи дозволяють вивчити внутрішню будову сплавів, дослідити склад його фаз. Це дозволяє встановити вплив мікроструктури на фізичні та механічні характеристики дослідного матеріалу.

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. СКЛАД ТА ТЕХНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СПЛАВІВ НА ОСНОВІ НІКЕЛЮ

Визначення та застосування жароміцних нікелевих сплавів

Жароміцними сплавами називають велику групу складно легованих сплавів, на основі елементів VIII групи періодичної системи елементів (Fe, Co, Ni) з добавками великої кількості легуючих елементів.

Головною особливістю таких сплавів є збереження високого опору пластичної деформації і руйнування при впливі високих температур і і агресивних окислювальних середовищ [1].

Жароміцні сплави використовують при виготовленні багатьох деталей газових турбін реактивної авіації, в суднових газотурбінних установках, стаціонарних газових турбінах, при перекачуванні нафти і газопродуктів, при гідрогенізації палива, в нагрівальних металургійних печах і багатьох інших установках. Крім газових турбін повітряного, морського, автомобільного транспорту та промислового призначення жароміцні нікелеві сплави знаходять застосування в космічних кораблях, ракетних двигунах, атомних реакторах і підводних човнах. Ці матеріали експлуатуються в умовах високих динамічних силових навантажень при високих температурах, близьких до температури плавлення.

За технологією отримання заготовок розрізняють деформуючі, ливарні і порошкові жароміцні нікелеві сплави.

Деформуючі застосовують для отримання листів, дроту, стрічки і різних деталей отриманих куванням, штампуванням або пресуванням.

Ливарні - застосовуються для отримання деталей литтям в керамічні або металеві форми під тиском. Ливарні нікелеві сплави мають більш високу жароміцністю в порівнянні з аналогічними властивостями сплавів,

					КР.131.6121М.04.ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Склад та технічні властивості сплавів на основі нікелю		
Студент	Вдовиченко						
Керівник	Костін						
Консул.							
Н. Контр.							
Зав. каф.	Драган				Літ. Арк. Акрушів		
						52	5
					НУК		
					ім. адм. Макарова		

що деформуються, і дозволяють відливати з них тонкостінні лопатки складної конфігурації з розвиненою внутрішньою порожниною і з мінімальними припущеннями під механічну обробку.

Порошкові - отримують методами порошкової металургії, а вироби з них шляхом спікання або сплаву порошкового матеріалу.

Різні марки жароміцних нікелевих сплавів відрізняються за властивостями, перш за все жароміцністю, а також корозійною стійкістю, механічними властивостями (пластичність, тривала міцність, термічна втома, втомна довговічність та ін.).

Експлуатаційні властивості жароміцних нікелевих сплавів залежать від технології їх виробництва: методів виплавки, умов розливання і кристалізації, умов механічної, термічної або хіміко-термічної обробки, фазового складу, макро- і мікроструктури, але первинно властивості будь-якого сплаву формуються вибором легуючих елементів і мікродобавок і їх кількісного співвідношення в системі.

Хімічний склад жароміцних нікелевих сплавів

Жароміцні сплави являють собою складнолеговані багатокомпонентні системи на основі нікелю. Жароміцні нікелеві сплави мають наступні основні компоненти структури :

- γ -твердий розчин на основі нікелю;
- γ' -зміцнюючу фазу;
- карбіди типу MeC , Me_6C , $Me_{23}C_6$;
- η , σ , δ , ТПУ і інші фази.

Всі компоненти, що використовуються при легуванні жароміцних нікелевих сплавів, умовно можна розділити на три групи: елементи утворюють γ' фазу, елементи твердого розчину і карбідообразуючі елементи. До першої групи відносяться Ti, Ta, Hf, Nb, V, W, Mo, Cr, до другої - Co, Cr, Mo, W; до третьої Al, Ti, Ta, Nb, Hf.

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Особливу групу складають мікролегуючі компоненти, які вводять з метою зміцнення міжфазних і межзеренових кордонів. До них відносять С, В, Zr і деякі рідкоземельні елементи, такі як La, Ce, Y.

Вплив кожного легуючого елемента в жароміцних нікелевих сплавах багатогранний. Один і той же хімічний компонент може одночасно бути і карбідообразуючим елементом і входити до складу твердого розчину, підвищуючи його міцність. У таблиці 3.1 представлені основні функції легуючих елементів.

Таблиця 3.1 - Вплив різних елементів на властивості жароміцних нікелевих сплавів.

Елемент	Короткий опис ефектів від легування
Co	Робить позитивний вплив на жароміцність, технологічність (гнучкість), а також на розширення температурного інтервалу для здійснення термічної і деформаційної обробки, підвищення стійкості до сольової корозії.
Cr	Головним чином підвищує стійкість до високотемпературної газової та сульфідної корозії, збільшує опір росту втомної тріщини. В основному входить до складу γ -фази. Крім того, присутній в карбідах $Me_{23}C_6$ і ТПУ-фазах.
Al	Сприяє утворенню високодисперсної фази. Основний γ' утворюючий елемент. Створює тугоплавкі з'єднання з киснем на поверхні.
Ti	Сприяє утворенню високодисперсної фази. Основний γ' -утворюючий елемент. Створює додаткову зміцнюючу фазу на основі карбіду типу MeC .
Mo	Підвищує термічну стійкість твердого розчину шляхом гальмування процесів знеміцнення при високих температурах, підвищують температуру рекристалізації твердого розчину, утворює карбіди $Me_{23}C_6$
Ta	Сприяє підвищенню термічної стійкості твердого розчину. Утворення і підвищення стабільності γ' -фази, збільшення опору повзучості і опору росту втомної тріщини. Є також карбідообразуючим елементом.
W	Підвищує термічну стійкість твердого розчину шляхом гальмування процесів знеміцнення при високих температурах, підвищують температуру рекристалізації твердого розчину.
Nb	Підвищує опір повзучості при невеликих кількостях. Входить до складу γ' -фази, утворює карбіди MeC .

Продовження таблиці 3.1

Fe	Погіршує жароміцні властивості в сложнолегованих ливарних жароміцних нікелевих сплавах, тому вміст заліза обмежується в таких сплавах, при цьому деталі з залізонікелевих сплавів добре зварюються, а сплави типу пермаллой (45-80% Ni) володіють хорошими магнітними властивостями.
B	При старінні виділяється у вигляді боридних фаз різного складу (Me_3B_2 , Me_5B_3), переважно по межах і на стиках зерен, що сприяє різкому уповільненню дифузійних процесів по кордонів зерен, бориди також захоплюють шкідливі домішки.
Zr	Введення мінімальних добавок поліпшує характеристики повзучості, цей елемент сегрегуючий по межах зерен, перешкоджаючи утворенню тріщин і послаблюючи зернограничного дифузію, пов'язує шкідливі домішки, знижує швидкість росту втомної тріщини. Утворює тугоплавкі З'єднання з киснем.
V	Карбідообразуючий елемент, сприяє підвищенню жароміцності, однак оказує негативний вплив на жаростійкість
Hf	Активний карбідообразуючий і зміцнюючий у-фазу елемент, пригнічує виникнення межзеренового руйнування, що забезпечує сплаву довговічність в умовах повзучості.
Mg, Ca	Мінімальні добавки призводять до поліпшення жароміцних властивостей, тому що сприяють подрібненню часток 1-фази, а також призводять до зв'язування сірки.
C	Утворює важкорозчинні карбіди TiC , $Cr_{23}C_6$, Cr_7C_3 і ін., в присутності і Мо подвійні карбіди типу Me_6C ; перерозподіл карбідів в жароміцних нікелевих сплавах в інтервалі гартівних температур сильно впливають на тривалу міцність і пластичність сплавів. Контроль росту зерна при підвищених температурах.
S	При великому вмісті призводить до різкого зниження жароміцності, утворюючи з залізом, нікелем і кобальтом легкоплавкі евтектики, знижує міцність кордонів зерен.
P, Pb, Bi, Te, Sn, Se, Ti, S, A та ін.	Навіть малі кількості цих домішок мають негативний вплив, як на тривалу міцність, так і на пластичність.

В результаті складного легування у цих сплавів досягнуті найвищі жароміцні властивості в порівнянні з жароміцними властивостями сплавів на залізній і навіть кобальтовою засадах.

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Присадка 20% Сг до нікелю порівняно мало зміцнює твердий розчин при високих температурах і підвищення межі міцності становить 25-30%. Хром покращує окалинотійкість і, крім того, підвищує енергію зв'язку атомів в твердому розчині системи нікель хром залізо.

Введення титану в нікельхромові сплави в кількості 2,5-3,0% сприяє утворенню високодисперсних інтерметаллідних фаз при помірних температурах, збільшує тим самим опір сплаву пластичної деформації і підвищує тривалу міцність при 8000С до 15 кг / мм². Введення в нікельхромові сплави титану разом з бором підвищує її до 20 кг /мм².

Збільшення вмісту титану або алюмінію чи їх суми разом з бором іттугоплавкими елементами (W, Мо або b) ще більше підвищує жароміцність (100 при 8000С = 50 кг /мм²).

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.1 Розробка базової системи сплаву

Нікелевий сплав ХН57КВЮТМБРЛ-ВИ (ЧС88У-ВИ) використовується для відливки лопаток газотурбінних двигунів.

Основні технічні характеристики сплаву.

1. Призначення, умови використання та якість виготовлення матеріалу та конструкцій.

Нікелевий сплав ХН57КВЮТМБРЛ-ВИ (ЧС88У-ВИ) має наступний середньо-розрахунковий склад (% маси) таблиця 3.1.

Таблиця 3.1. - Хімічний склад сплаву ХН57КВЮТМБРЛ-ВИ (ЧС88У-ВИ)

вміст елементів						
NI	C	Cr	Co	Mo	W	Ti
основа	0,06	15,9	11	1,9	5,3	4,6

Продовження Таблиці 3.1

вміст елементів					
Al	Nb	B	Y	Zr	Hf
3,05	0,2	0,08	0,03	0,05	0,3

Нікелевий сплав ХН57КВЮТМБРЛ-ВИ (ЧС88У-ВИ) призначений для виготовлення робочих лопаток сучасних газотурбінних двигунів (ГТД), які мають при експлуатації температуру на металі до 900 °С.

Сплав має задовільну стійкість до циклічного окиснення на рівні сплаву ЖС6К.

Сплав має хорошу стійкість проти високотемпературної сольової корозії, при цьому не уступає в цьому відношенню таким відомим сплавам як IN -738 та ЧС70-ВИ .

Основні умови використання сплаву.

Умови використання сплаву при яких забезпечується надійність сплаву як конструкційного матеріалу для робочих лопаток ГТД наведено в таблиця 3.2.

Таблиця 3.2 - Умови використання сплаву при яких забезпечується надійність сплаву як конструкційного матеріалу для робочих лопаток ГТД

Вид навантаження	Температура °С	Корозійне середовище	Швидкість потоку робочого середовища	Умови захисту від корозії
Статичне та динамічне	До 900 °С	Поток продуктів згорання палива які включають середовище та компоненти морського середовища (NaCl, Na ₂ SO ₄ і т.д)	1,0-2,0 Мах	Антикорозійне захисне покриття

Умови та терміни збереження сплаву не регламентуються.

2. Умови якісного виготовлення сплаву.

2.1. Сплав виплавляється в вакуумних індукційних печах та може бути підданий механічній обробці, анодному різанні та інше.

2.2. Для виготовлення лопаток сплав використовують в виді ливарних прутків діаметром від 60 до 90 мм.

2.3. Технологічні умови якісного виготовлення сплаву та робочих лопаток з нього з ціллю забезпечення надійності роботи ГТД наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 -Технологічні умови якісного виготовлення робочих лопаток з ціллю забезпечення надійності роботи ГТД

Варіант технології металургійного виробництва	Технологія литва зі сплаву	Неруйнівний контроль		
		Методи	Вид та норми допустимих дефектів	
			внутрішні	поверхневі
Вакуумна індукційна відливка з розливом у металевий кокіль	Метод точного литва по виплавленим моделям у вакуумі	Рентгенографія ЛЮМ-А	Не допускаються	На вхідних та вихідних кромках не допускається. Допускаються на пері лопатки по ТУ на виготовлення ливарних лопаток, відповідних типів виробів

Регламентований по технічним умовам підприємства хімічний склад та сортамент сплаву ХН57КВЮТМБРЛ-ВИ (ЧС88У-ВИ) наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 - Регламентований по технічним умовам підприємства хімічний склад та сортамент сплаву ХН57КВЮТМБРЛ-ВИ (ЧС88У-ВИ)

Сортамент	Технічні умови	Склад елементів % мас.						
		C	Cr	Co	Mo	W	Al	Ti
Прутки ливарні діаметром від 60 до 90 мм	ТУ 14- 1-4828	0,04- 0,09	15,4- 16,3	10,0-11,5	1,6- 2,3	4,7- 5,9	2,8- 3,3	4,2- 5,0

Продовження таблиці 4

Сортамент	Технічні умови	склад елементів % мас.						
		Nb	Hf	В	Zr	Y	Ce	Si
					по розрахунку не більше			
Прутки ливарні діаметром від 60 до 90 мм	ТУ 14- 1-4828	0,1-0,3	0,2-0,4	0,06- 0,1	0,03	0,03	0,015	0,3

Продовження таблиці 4

Сортамент	Техні чні умови	склад елементів % масс.										
		Mn	S	P	Fe	Cu	Bi	Pb	Sb	As	N2	Ni
		по розрахунку не більше										
Прутки ливарні діаметром від 60 до 90 мм	ТУ 14-1- 4828	0,3	0,008	0,008	0,5	0,1	5x10-5	1x10-3	5x10-4	5x10-4	0,01	Осно ва

Гарантований комплекс механічних властивостей сплаву
ХН57КВЮТМБРЛ-ВИ ЧС 88У ВИ наведено в таблиця 3.5.

Таблиця 3.5- Гарантований комплекс механічних властивостей сплаву
ХН57КВЮТМБРЛ-ВИ (ЧС 88У ВИ)

Сортамент ТУ	Терміна обробка	Темпера тура випробу вань °С	Механічні властивості				
			σ_B , кгс/мм ²	$\sigma_{0,2}$ кгс/мм ²	δ_5 , %	Ψ , %	σ_{100} , кгс/мм ²
Прутки ливарні ТУ 14-1-4828	1170 ±10 °С, 4 години охладження в вакуумі, потім на повітрі	20	90	75	2,5	4,0	-
	1050±10 °С, 4години охладження на повітрі	800	85	75	8,0	12,0	39
	850±10 °С, 16 годин охладження на повітрі	900	65	55	8,0	16,0	28

В першій фазі відбувається гомогенізація при температурі 1170 °С – це необхідно для того щоб зробити рівномірний твердий розчин сплаву, а також зняти ливарну напругу.

В другій фазі при температурі 1050 °С відбувається поява зміцнюючої γ' -фаза.

В третій фазі при температурі 850 °С відбувається старіння та рівномірне повне виділення γ' -фази;

Ливарні властивості сплаву ХН57КВЮТМБРЛ-ВИ (ЧС88У-ВИ) наведено в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6- Ливарні властивості сплаву ХН57КВЮТМБРЛ-ВИ ЧС88У-ВИ

Найменування властивостей	Значення
1. Температура ліквідуса, 0С	1320
2. Температура солідуса, 0С	1270
3. Рідкоплинність, мм	Краще ніж у ЧС70-ВИ; λср. значення=550-600 мм
4. Схильність до гарячих тріщин	Менш схильних чим ЧС70-ВИ
5. Лінійна усадка, %	1,9
6. Об'ємна усадка, %	5,2

Зварювання нікелевих сплавів пов'язана зі значними труднощами, в зв'язку з їх особливими фізико-хімічними властивостями — великою схильністю до утворення пір при різкій зміні розчинності азоту, водню і кисню в процесі переходу металу з твердого стану в рідке.

3.2. Процес виготовлення стеліту та його властивості

Стеліт Х30Н50Ю5Т2 виплавляють методом литва по моделях, що виплавляються.

Суть даного способу полягає в тому, що модель виготовляють з віскоподібної маси без руйнування форми, що забезпечує високу геометричну точність відливань.

Моделі збирають у блоки. На поверхню модельного блоку зануренням наносять шар рідкої суміші - суспензії, що складається із запалівидного вогнетривкого матеріалу (корунд).

Одержаний шар суміші обсипають зернистим вогнетривким матеріалом (піском, шамотом) і сушать. При сушці розчинник випаровується, внаслідок чого колоїдний розчин з нестійкого стану – (зола) переходить в стійке –(гель). Гель зв'язує зерна вогні упора, і оболонка б набуває міцності. Потім наносять новий шар суспензії і знову обсипають зернистим вогнетривком. В результаті одержують 4-6 шарову оболонку на поверхні блоку моделей. Після цього виплавлянням або розчиненням в гарячій воді з оболонки видаляють модель.

Одержану багат шарову оболонкову форму заформовують в сипкому вогнетривкому наповнювачі - сухому кварцовому піску - в опоках з жаростійкої сталі. Для видалення з оболонкової форми вологи і залишків модельної маси її прожарюють в печах при 900-1000 °С.



Рис.3.1 Піч для прожарювання моделей

Прожарену оболонкову форму в нагрітому стані заливають металом в вакуумно – індукційній печі.

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис.3.2 Вакуумно – індукційна плавильна установка



Рис.3.3 Заливка металу в модель у вакуумно – індукційній плавильній установці

Після охолодження відливань їх поверхню очищають від оболонки форми, яка легко відділяється від зовнішніх поверхонь, але утримується в отворах і порожнинах відливань. З цих місць відливань оболонка віддаляється викутуванням. Луг, взаємодіючи з оболонкою, утворює розчин силікату натрію. Після викутування відливання промивають в

підігрітій воді і сушать. Відливання піддають термічній обробці і контролюють.

Після виплавки стелітів проводиться термообробка в термічній вакуумній печі



Рис.3.4 Термічна вакуумна піч

Хімічний склад сплаву Х30Н50Ю5Т2 для виробництва стеліту

C	NI	Cr	AL	Ti	B	Fe	S	P
					не більше			
1,2- 1,6	основ а	32,0- 36,0	5,0- 6,0	1,4- 2,1	0,01	2	0,07	0,03

Розміри стеліту наведені на рисунку 3.5.

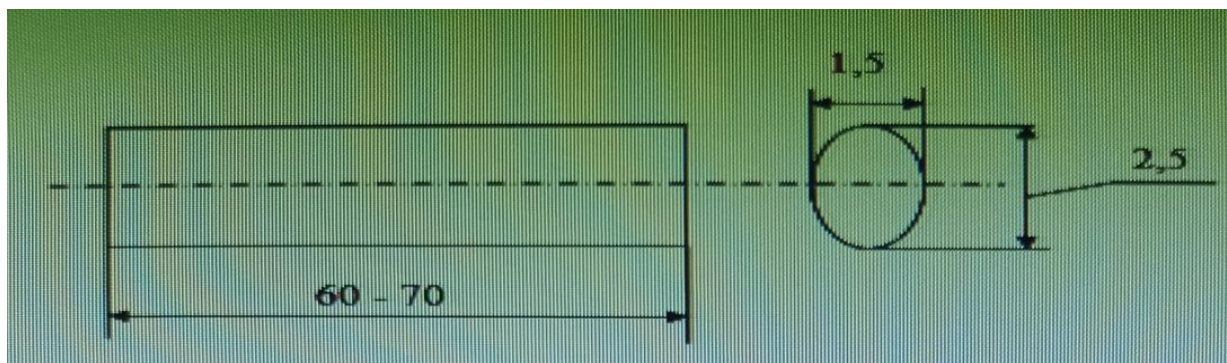


Рис 3.5 Розміри стеліту Х30Н50Ю5Т2 довжина 60-70 мм, діаметр 1,5-2,5мм.

Ливарний блок після обробки та відрізки стелітів.

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65



Рис. 3.6. Ливарний блок після обрубки та відрізки стеліту Х30Н50Ю5Т2



Рис.3.7 Елементи ливарного блоку стеліту Х30Н50Ю5Т2

3.3. Дослідження та порівняння зносостійкості дослідних матеріалів

Стеліт Х30Н50Ю5Т2 нетехнологічний і процес його наплавки відноситься до розряду нестабільних технологічних процесів. Лопатки виготовляються зі сплаву ХН57КВЮТМБРЛ-ВИ (ЧС88У-ВИ), який є незварювальним. Утворюються тріщини, які необхідно виправляти. Поведінка зварювальної ванни незадовільна із-за окисню алюмінію. Відсутня рідкотекучість і нормального змочування металу. Утворюються несплавлення.

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пропонується дослідити властивості стеліту Х30Н50Ю5Т2 з більш низьким вмістом алюмінію Х30Н50Ю3Т2.

План роботи проведення дослідження.

1. Відлити дослідний блок стелітів Х30Н50Ю3Т2 та штатний блок стелітів Х30Н50Ю5Т2.
2. Наплавити стеліти та заміряти твердість HRC.
3. Наплавити лопатки з повним циклом термообробки та здійснити металографічне дослідження.
4. Здійснити наплавку циліндричних зразків стелітом Х30Н50Ю3Т2 (досліджує мий стеліт) та стелітом Х30Н50Ю5Т2 (штатний стеліт) для взаємного стирання.

5. Випробувати на високотемпературну сольову корозію.

Необхідне обладнання

1. Пост аргонодугового зварювання (АДЗ) Aristo Tig250. Пальник ТХН 200 з газовою лінзою.
2. Мідне тепловіддне пристосування.
3. Лопатки зі сплаву ХН57КВЮТМБРЛ-ВИ (ЧС88У-ВИ) – 2 одиниці.
4. Прутки стеліту Х30Н50Ю5Т2 (штатний стеліт)
5. Прутки стеліту Х30Н50Ю3Т2 (дослідний стеліт)
6. Аргон в балонах, ацетон та інші допоміжні матеріали.

Хімічний склад шихти досліджуваного стеліту Х30Н50Ю3Т2 наведено в таблиці 3.7

Таблиця 3.7 - Хімічний склад шихти досліджуваного стеліту Х30Н50Ю3Т2

Елементи	Кількість, кг
Нікель (Н1, Н2, Н3)	3,02
Алюміній первинний(А, А7, А8)	0,13
Хром металевий Х99	1,75
Кускові відходи ОТ4-1	0,1
Феробор ФБ-17	0,005
Бій графітових електродів	0,08

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Проведення робіт

1.В ливарному виробництві відливаються блок досліджуваного стеліту Х30Н50Ю3Т2 та штатного стеліту Х30Н50Ю5Т2 вагою по 5 кг.

2.Штатний та дослідні стеліти наплавляються на торці циліндрів, вироблених зі сплаву ХН57КВЮТМБРЛ-ВИ (ЧС88У-ВИ) з розмірами Ø20мм, h30мм.

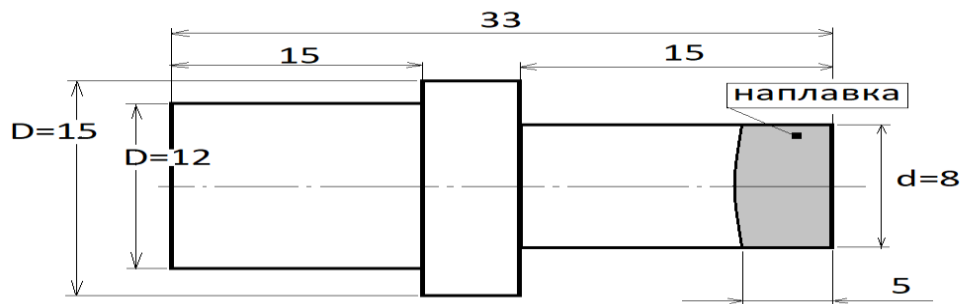


Рис.3.8. Форма та розміри циліндрів з наплавленням стелітів.

Після повного циклу термообробки виміряно твердість на висоті наплавлення 3мм. Результати замірів наведено в таблиці 2.

Таблиця 3.8.-Результати замірів твердості дослідних матеріалів

Х30Н50Ю5Т2:	52,	51,	51,	51,5,	51	HRC
Х30Н50Ю3Т2:	45,	45,5,	46,	45,5,	46	HRC

3.Проведено наплавлення торців бандажних полок на двох лопатках. Одна лопатка наплавлена штатним стелітом Х30Н50Ю5Т2, а друга лопатка наплавлена дослідним стелітом Х30Н50Ю3Т2. Наплавлення здійснювалась за допомогою мідного пристосування.

Після повного циклу термообробки проведено металографічне дослідження.

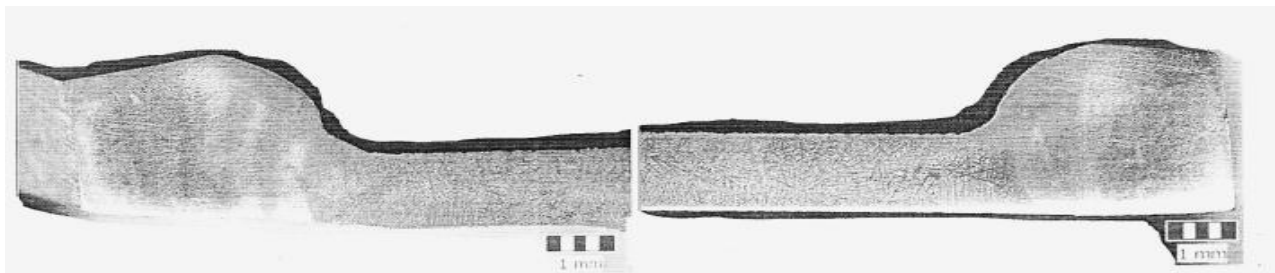


Рис.3.9 Макроструктура зон з наплавленням лопатки стелітом Х30Н50Ю5Т2 (штатний стеліт)

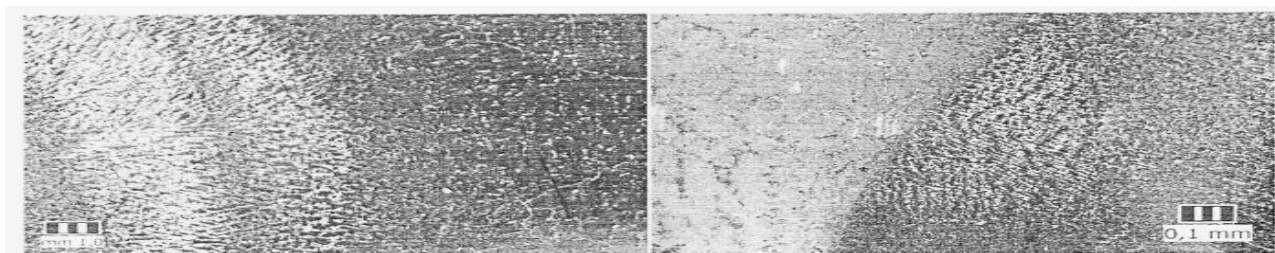


Рис.3.10 Мікроструктура торців бандажних полиць в зоні переходу від наплавлення стелітом Х30Н50Ю5Т2 (штатний стеліт) до основного сплаву лопатки.

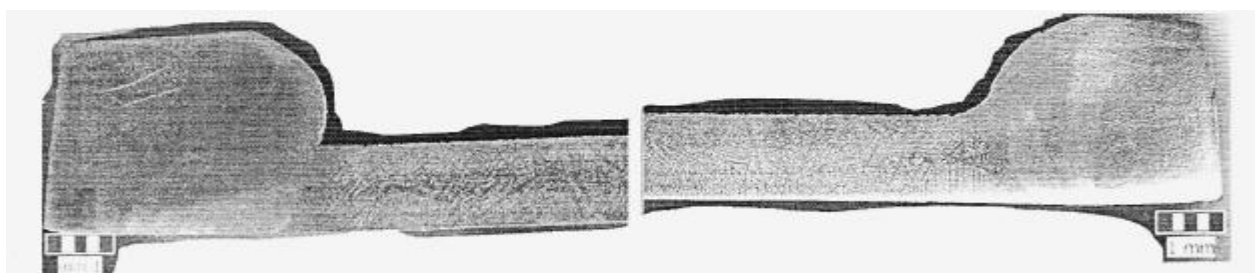


Рис.3.11 Макроструктура зон з наплавленням лопатки стелітом Х30Н50Ю3Т2 (дослідний стеліт)

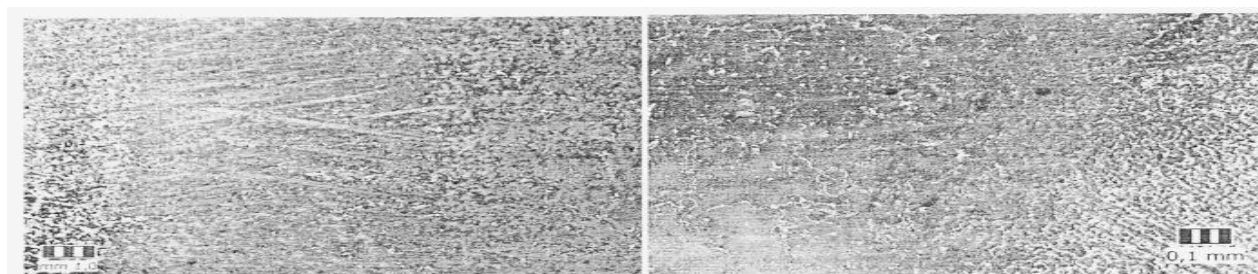


Рис.3.12 Мікроструктура торців бандажних полиць в зоні переходу від наплавлення стелітом Х30Н50Ю3Т2 (дослідний стеліт) до основного сплаву лопатки.

Результати дослідження наведені в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Результати металографічного дослідження

Термообробка лопаток та циліндричних зразків	
Імітація кобальтування	$T=970 \pm 10^{\circ}\text{C}$, $t=6+2$ години
Імітація алітирування	$T=970 \pm 10^{\circ}\text{C}$, $t=6+2$ години
Імітація дифузійного відпалу	$T=1050 \pm 10^{\circ}\text{C}$, $t=2$ години
Імітація рекристалізаційного відпалу	$T=1050 \pm 10^{\circ}\text{C}$, $t=2$ години
Старіння	$T=850 \pm 10^{\circ}\text{C}$, $t=17$ годин

Дослідженням не виявлено дефектів наплавлення на обох лопатках.

4. Наплавлені циліндричні зразки, призначені для взаємного стирання. Один зразок - штатним стелітом Х30Н50Ю5Т2, а другий зразок - дослідним стелітом Х30Н50Ю3Т2.

Проведення лабораторного дослідження на зносостійкість.

На токарному верстаті 1К62, при кутовій швидкості 2000 об/хвилину, приводим до контакту наплавлені поверхні двох зразків.

В результаті тертя місце контакту розігрівається до 900°C . Температура вимірюється інфрачервоним термометром RIDGID micro ER100. Далі прикладаються тиск між зразками шляхом ручної подачі задній бабці. Тиск не вимірюється. Витримка під тиском 20 хвилин.

Спостерігаємо поведінку зразків і після чого вимірюємо їх довжину, порівнюючи з первісною.

Під час дослідження встановлено що стеліт Х30Н50Ю5Т2 (шатний стеліт) швидко втрачає форму та починає деформуватися від наданого тиску через зворотній вірець.

При цьому інтенсивно утворюється окалина навколо контактних поверхонь, яка поступово згорає протягом випробування.

В той же час, стеліт Х30Н50Ю3Т2 (дослідний стеліт) не деформується і окалина практично не утворюється. Як видно, довжина штатного стеліту зменшилась на 1,5 мм (таблиця 3.10, та рисунок 3.12).

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.10 - Порівняння довжини стелітів після випробування на стирання

Матеріал	Довжина до випробування, мм	Довжина після випробування, мм
X30H50Ю5T2	33,0	31,5
X30H50Ю3T2	33,0	33,0



Рис.3.13 Стеліти після проведення випробування на стирання.

5. Випробування на високотемпературну сольову корозію проводилось в суміші солі 75%Na₂SO₄+25%NaCl. Тривалість випробування 20 годин при температурі 900°C.

Зразки стелітів X30H50Ю5T2 (штатний стеліт) та X30H50Ю3T2 (дослідний стеліт) з розмірами Ø 10,1мм та l=15,1мм.

Встановлено, що геометрія X30H50Ю3T2 (дослідний стеліт) практично не змінилась, спостерігається незначна кількість густинної окалини темно – зеленого кольору.

Геометрія Х30Н50Ю5Т2 (штатний стеліт) практично не змінилась крім окалини темно – зеленого кольору, спостерігається значна кількість рихлої світло сірої окалини (рис.3.13 а, б).



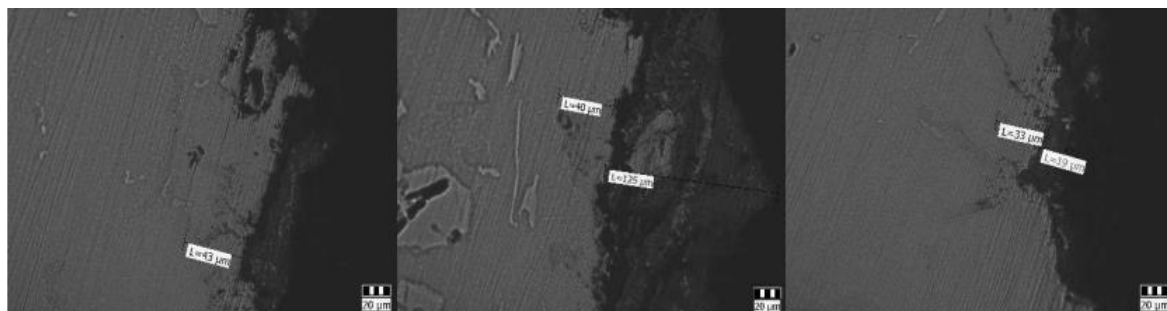
а) стеліт Х30Н50Ю3Т2 (дослідний стеліт)



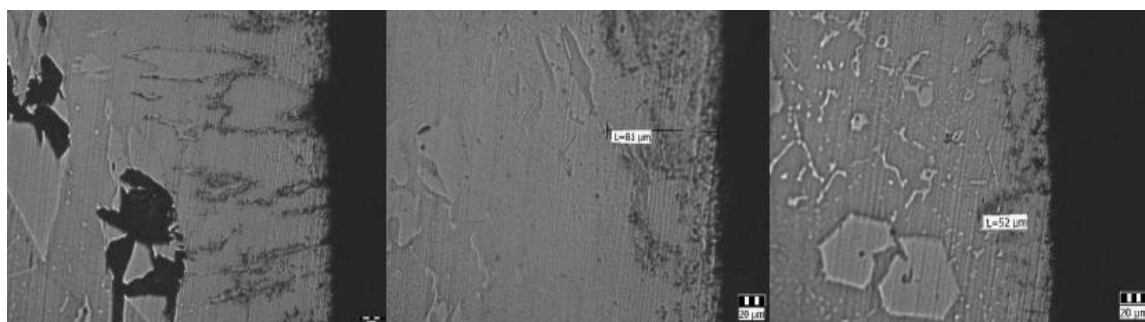
б) стеліт Х30Н50Ю5Т2 (шатний стеліт)

Рис.3.14. Зміни стелітів після високотемпературній солевій корозії(а) стеліт Х30Н50Ю3Т2 (дослідний стеліт), б) стеліт Х30Н50Ю5Т2 (шатний стеліт).

6. Виконано металографічне дослідження повздовжного розділу зразків для визначення розміру шару корозії. Глибина корозії склала до 160 мкм для Х30Н50Ю5Т2 и до 110 мкм для Х30Н50Ю3Т2. Рис.3.15 (а,б)



б) стеліт Х30Н50Ю5Т2 (x100) (шатний стеліт)



б) стеліт Х30Н50Ю3Т2 (x100) (дослідний стеліт)

Рис.3.15 Дослідження на визначення корозостійкості

3.4. Дослідження експлуатаційних властивостей сплавів

Проведені дослідження вказують на те, що дослідні сплави Х30Н50Ю5Т2 та Х30Н50Ю3Т2С володіють високим рівнем фазової та структурної стабільності під дією термічних навантажень, а також мають високу сумісність із жароміцним нікелевим сплавом ЧС88У-ВИ.

Наступною важливою експлуатаційною характеристикою наплавлюваних матеріалів є їх зносостійкість при робочих температурах в умовах реального циклу газотурбінного двигуна. Тому порівняльні дослід зносостійкості композиційних матеріалів Х30Н50Ю5Т2 та Х30Н50Ю3Т2С та промислових сплавів проводили в умовах високотемпературного фреттингу

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

на газодинамічному стенді. Ці дослідження дозволяють повністю відтворити умови роботи контактних поверхонь робочих лопаток турбіни в двигуні як по навантаженням, рівням прискорень, так і по швидкостям нагріву та охолодження, частоті вібрацій та газовому середовищу.

Піддослідні зразки із жароміцного нікелевого сплаву ЧС88У-ВИ із розмірами полук 22×12×2 мм (див. рис. 4.10) наплавляли шаром зносостійкого матеріалу товщиною 2 мм, із наступним отжигом при температурі 1100°С у вакуумі 10⁻² Па на протязі однієї години для зняття внутрішніх напружень.

Промислові сплави Х30Н50Ю5Т2 та Х30Н50Ю3Т2 наплавляли аргонно-дуговим зварюванням неплавким вольфрамовим електродом. Утворені в процесі наплавлення мікротріщини в перехідній зоні від основного до наплавленого металу умовно не вважали неприпустимими дефектами.

Наплавлення стелітом Х30Н50Ю5Т2та новими адгезійно-активними матеріалами Х30Н50Ю3Т2 виконували ацетилено-кисневим полум'ям нормального регулювання пальником ГС-2. Поверхня під наплавлення була профлюсована розчином флюсу ПВ200 у спирті (відношення 1:7). Після наплавлення зразки очищали від залишків флюсу гальванічним способом, проводили термообробку на режимах згідно табл. 3.17, механічно обробляли та проводили контроль люмінесцентним методом.

Випробування на зносостійкість проводили на парах ідентичних зразків із площиною взаємного контакту біля 50% (12-14 мм²). Схема виконання підготовчої операції вибірки на зразках в зоні контакту наплавлених поверхонь показана на рис. 4.11. Площадка в зоні контакту зразків, не задіяна в процесі експерименту, дозволяє зберегти вихідну поверхню в якості базової для виміру зношення, це забезпечує оцінку зносостійкості методом профілографування.

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

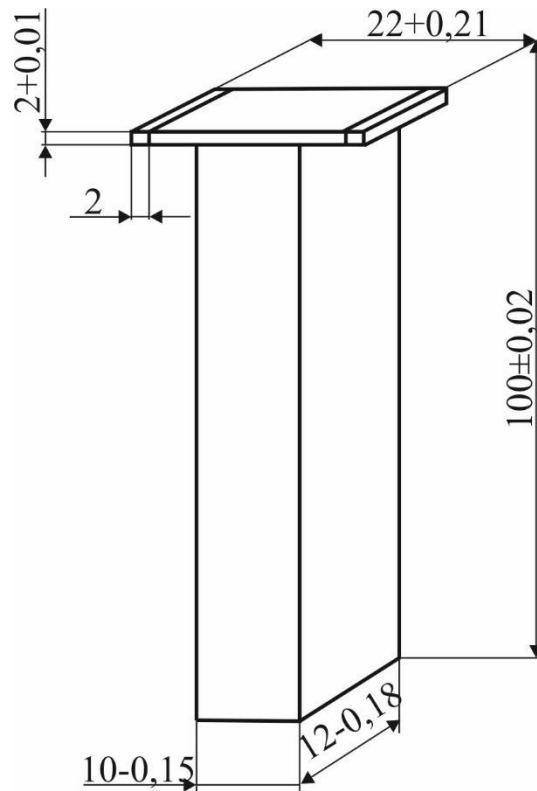


Рисунок 4.10 – Схема зразку для визначення зносостійкості

Отримана в модельній установці схема взаємодії контактуючих зразків представлена на рисунку 4.12. Амплітуду коливань зразків (A_k) визначали експериментально за допомогою бінокулярного мікроскопу типу МБС-2 при 50-разовому збільшенні в стробоскопічному освітленні. Амплітуда взаємного переміщення зразків (A_p) вираховується із геометричних побудов.

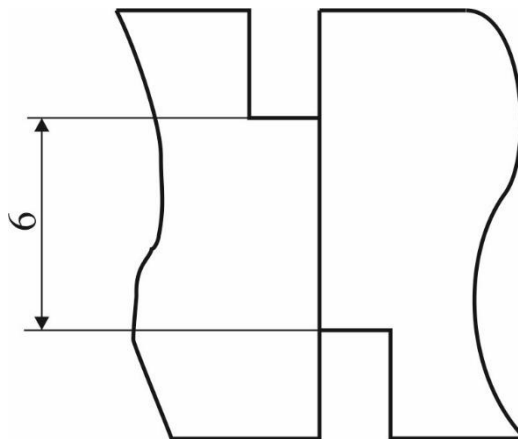


Рисунок 4.11 – Схема виконання підготовчої операції на зразках в зоні контактних поверхонь

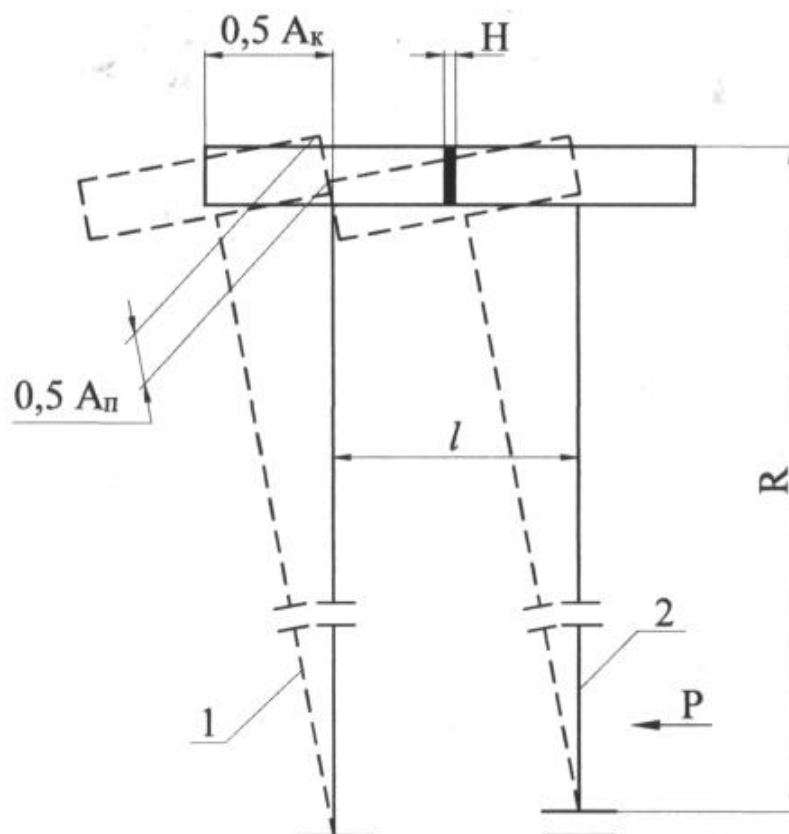


Рисунок 4.12 – Схема взаємодії контактуючих зразків

Для виключення можливого впливу температури дослідження на фізико-механічні властивості дослідних матеріалів та наступні результати оцінки зносостійкості, випробування зразків виконувалися в контакті лише однією дослідною стороною.

На рисунках 4.13 та 4.14 показані зовнішній вигляд установки, робоче положення зразків та газового пальника в процесі проведення досліджень.



Рисунок 4.13 – Зовнішній вигляд установки та робоче положення пальника в процесі проведення випробувань.



Рисунок 4.14 – Робоче положення зразків в процесі випробування.

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перед запуском установки (коливальний рух зразків) температура в зоні контакту дослідних зразків складала 1145°C, температура газу перед зразками дорівнювала 1212°C, температура газу над зразками – 1130°C. Випробування проводилося на протязі 2 годин. В таблиці 4.3 наведені заміри температури по трьох точках на протязі всього експерименту.

Таблиця 4.3 – Заміри температури газового середовища під час випробувань

Час випробувань, хв	Температура газу перед зразками, °C	Температура газу, над зразками, °C	Температура газу позаду зразків, °C
30	1234	1217	1120
60	1259	1161	1046
90	1280	1193	1070
120	1291	1248	1229

В подальшому на поверхні всіх дослідних зразків перед запуском виконували заміри температури для її забезпечення на рівні 1150°C, випробування зразків проводилися на ідентичних режимах, рівень температури газового середовища підтримувався аналогічно рівню базового заміру температур, згідно таблиці 4.3. Результати випробування порівняльної зносостійкості дослідних та промислових сплавів наведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Результати випробувань зносостійкості промислових сплавів Х30Н50Ю5Т2 та дослідних сплавів Х30Н50Ю3Т2.

Дослідний матеріал	Х30Н50Ю5Т2	Х30Н50Ю3Т2
<u>min – max</u> середнє	<u>7,718-14,408</u> 10,126	<u>6,916-10,121</u> 8,516
Інтенсивність зношування, Jv, мм ³ /цикл	(на базі испытаний 40 минут)	(на базі испытаний 40 минут)

Аналіз результатів випробувань показав, що в умовах нагрівання до температури 1150°C промислові зносостійкі жароміцні сплави Х30Н50Ю5Т2 не витримують контактні навантаження та повністю руйнуються. Зразки, наплавлені промисловим сталітом Х30Н50Ю3Т2, можуть лише обмежений час працювати в таких умовах внаслідок інтенсивного зношування.

Розроблений новий матеріал Х30Н50ЮЗТ2 демонструє значно більш високу зносостійкість. При цьому інтервал інтенсивності зношування зменшується та збільшується стабільність зносостійкості матеріалу.

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

1.Стеліт Х30Н50Ю3Т2 зі зменшеним змістом алюмінію є більше технологічним при наплавленні в порівнянні зі штатним стелітом Х30Н50Ю5Т2.

2.Зносостійкість Х30Н50Ю3Т2 перевищує аналогічні показники штатного стеліту Х30Н50Ю5Т2.

3.Корозійна стійкість стелітів майже не змінилась;

4. Металографічним дослідженням не виявлено дефектів наплавлення стелітів на лопатки ГТД.

5. За результатами замірів твердості дослідних матеріалів, стеліт зі зменшеним змістом алюмінію Х30Н50Ю3Т2 не поступається штатному стеліту Х30Н50Ю5Т2.

Очевидно, що зменшення алюмінію дає можливість формувати карбіди з більш сприятливим змістом та морфологією.

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ НАНЕСЕННІ ЗМІЦНЮЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

4.1. Охорона праці при нанесенні зміцнюючих матеріалів

Для проведення дослідницької частини в рамках даної роботи використовувалось різноманітне промислове та лабораторне обладнання. Зокрема активно використовувалася вакуумна електропіч СНВЭ-1.3.1/16. Головним фактором, який призводить до виникненню травм при роботі із потужними електричними установками, є ураження електричним струмом внаслідок пошкодження ізоляції або її пробоем струмом високої напруги.

Одним із методів захисту людини від ураження електричним струмом є захисне заземлення, яке слугує для зниження електричного струму, що виникає на металевих частинах обладнання, до безпечного рівня. Принцип його дії полягає в тому, що між заземлюваним корпусом обладнання та землею створюється металеве з'єднання високої провідності, тому струм, що проходить через тіло людини, стає безпечним для життя.

Напруга дотику буде тим меншою, чим меншим є опір заземлення. Згідно правил експлуатації електроустановок (ПУЕ) опір не повинен перевищувати 4 Ом в устаткуванні із напругою до 1000 В та 0,5 Ом в установках із напругою вищою за 1000 В.

Заземленню підлягають всі електроустаткування постійного та змінного струму із напругою 500 В та вище. В приміщеннях із підвищеною небезпекою заземлення виконують при напрузі 36 В та вище змінного струму та 110 В і вище постійного струму.

Потужність вакуумної печі СНВЭ-1.3.1/16 складає 13 кВт, до її складу входить наступне електрообладнання: понижуючий трансформатор ОЭСК 40/34 УХЛ4; шафа керування, що містить прилади виміру та контролю (ВИТ2).

					КР.131.6121М.04.ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Студент	Вдовиченко				ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ НАНЕСЕННІ ЗМІЦНЮЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ		
Керівник	Костін						
Консул.							
Н. Контр.							
Зав. каф.	Драган						
					Лім.	Арк.	Акрушіє
						81	4
					НУК ім. адм. Макарова		

Напруга вторинних обмоток трансформатора складе 25 В та не становить небезпеки для здоров'я людини, але до складу вимірювальних приладів входять високовольтні блоки, цей факт викликає необхідність з'єднання обладнання із контуром заземлення. Виконаємо розрахунок мінімально необхідних параметрів контуру заземлення для вакуумної печі згідно з методикою [17].

Для визначення ефективності контуру заземлення необхідно розрахувати його опір розтіканню струму R_3 та порівняти із допустимим опором, згідно вимог ПУЕ $R_{\text{доп}} = 4 \text{ Ом}$. Умова відповідності контуру: $R_3 < R_{\text{доп}}$.

В якості головного елемента контуру обираємо трубу діаметром $d = 3,2 \text{ см}$. Для визначення опору однієї труби використаємо наступну формулу:

$$R_T = \frac{0,366 \rho}{l} \left[\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4h+l}{4h-l} \right] \text{ Ом},$$

де $\rho = 2,2 \cdot 10^3 \text{ Ом}$ - питомий опір ґрунту (замірювався за допомогою вимірювача опору М-416); $l = 200 \text{ см}$ – довжина труби; $h = 130 \text{ см}$ – глибина закладеної труби від поверхні землі до середини труби.

$$R_T = \frac{0,366 \cdot 2,2 \cdot 10^3}{200} \left[\lg \frac{2 \cdot 200}{3,2} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 130 + 200}{4 \cdot 130 - 200} \right] = 9,16 \text{ Ом}$$

Визначимо приблизну кількість n вертикальних заземлювачів:

$$n = \frac{R_T}{R_{\text{доп}}} \text{ шт}$$

$$n = \frac{9,16}{4} = 2,3 \text{ шт}$$

Приймаємо $n = 3$ труби, труби розташовуємо трикутником при цьому відстань між ними дорівнює довжині труби. Далі треба розрахувати довжину полоси, яка з'єднує вертикальні заземлювачі:

$$L = 1,05 \cdot a \cdot n \text{ м},$$

де $a = 200 \text{ см}$ – довжина між трубами, тоді:

$$L = 1,05 \cdot 200 \cdot 3 = 630 \text{ см}$$

Розрахуємо опір розтіканню струму заземлюючої полосової лінії:

$$R_n = 0,366 \frac{\rho}{L} \lg \frac{L^2}{bn} \text{ Ом},$$

де $b = 3 \text{ см}$ – ширина полоси, тоді:

					КР.131.6121М.06.00.ПЗ	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_n = 0,366 \frac{2,2 \cdot 10^3}{630} \lg \frac{630^2}{3 \cdot 3} = 5,93 \text{ Ом}$$

Загальний опір розтіканню струму розраховується за формулою:

$$R_3 = \frac{1}{\frac{\eta_2}{R_n} + \frac{\eta_1}{R_T}} \text{ Ом},$$

де $\eta_1 = 0,72$ – коефіцієнт використання заземлювачів; $\eta_2 = 0,5$ – коефіцієнт використання з'єднувальної полоси.

$$R_3 = \frac{1}{\frac{0,5}{5,93} + \frac{3 \cdot 0,72}{9,16}} = 3,125 \text{ Ом}$$

Таким чином загальний опір розтіканню струму $R_3 = 3,125 < R_{\text{доп}} = 4$, тобто параметри даного контуру можна вважати задовільними для заземлення високовольтного устаткування зі складу вакуумної печі СНВЭ-1.3.1/16. Схематичне зображення контуру заземлення зображено на рисунку 4.1.

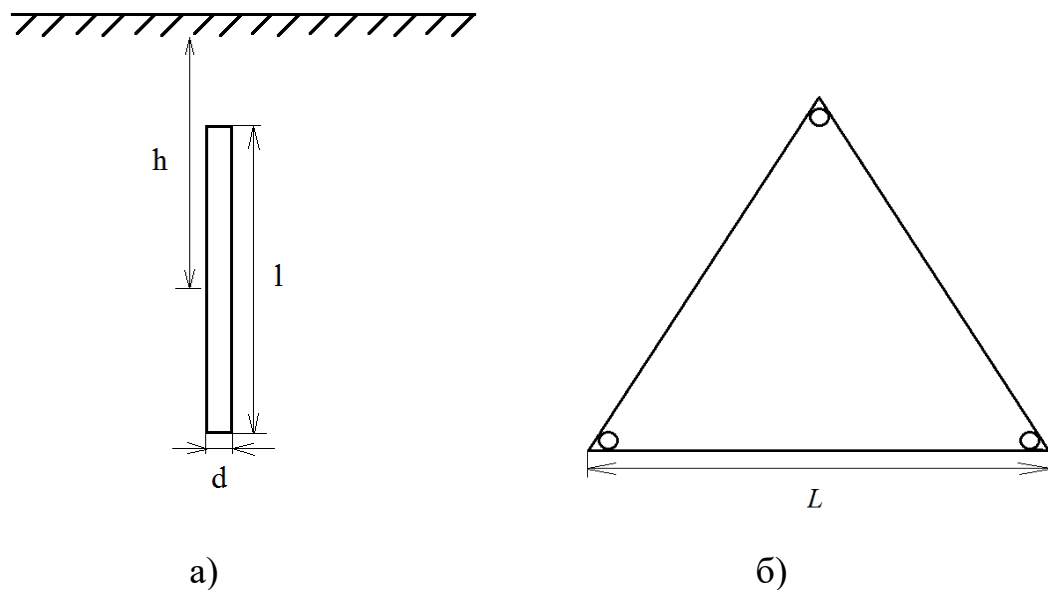


Рис. 4.1 Контур заземлення: а) схема залягання електродів в землі; б) розташування електродів, з'єднаних полосою.

Роботи з нанесення зміцнюючих матеріалів проводилась за допомогою аргано- дугової зварки пост AristoTig250.

Роботи, які виконуються електрозварником, відносяться до робіт з підвищеною небезпекою відповідно до Переліку робіт з підвищеною небезпекою, атвердженого наказом Державного комітету України по нагляду за охороною праці від 26.01.2005 № 15.

Робочим місцем електрозварника є частина виробничої площі майстерні або цеху з джерелом живлення та зварювальною апаратурою, інструментом, пристосуваннями, матеріалами, необхідними для виконання змінного завдання.

До виконання робіт допускаються особи:

- які не молодші 18 років;
- які пройшли відповідне навчання за спеціальною програмою (в тому числі безпечним прийомом і методам виконання робіт);
- які пройшли медичний огляд відповідно до Порядку проведення медичних оглядів працівників певних категорій, затвердженого наказом Міністерства охорони здоров'я України від 21.05.2007 № 246 і не мають медичних протипоказань щодо стану здоров'я;
- які пройшли стажування на робочому місці у встановленому порядку;
- які пройшли перевірку знань Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів, Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів та мають 11 групу з електробезпеки (до 1000 В);

Під час влаштування на роботу робітник проходить вступний інструктаж з питань охорони праці.

Робітник інструктується перед початком роботи (первинний інструктаж), а потім через кожні три місяці (повторний інструктаж). Результати інструктажу вносять у Журнал реєстрації інструктажів з охорони праці на робочому місці, в якому мають бути підписи того, хто інструктує та робітника.

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Електрозварювальник повинен дотримуватися вимог охорони праці та правил трудового розпорядку Підприємства, в тому числі:

- своєчасно починати та закінчувати роботу;
- дотримуватися часу технологічної та обідньої перерв;
- не виконувати роботи, не передбачені змінним завданням;
- виконувати трудові функції у спеціальному одязі, взутті та інших засобах індивідуального захисту;
- не перебувати на робочому місці в позаробочий час без відповідного дозволу керівника.

Електрозварювальник повинен знати:

- пристрій і принцип роботи зварювального джерела живлення та зварювальної апаратури;
- систему водоохолодження зварювальної апаратури та керування подачі води;
- вимоги безпеки при експлуатації електроустаткування;
- правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском.

При укладанні трудового договору працівник повинен бути проінформований під підпис про умови праці на Підприємстві, наявності на робочому місці небезпечних і шкідливих виробничих факторів, можливі наслідки їх впливу на організм та його права на пільги та компенсації за роботу в таких умовах відповідно до законодавства та Колективного договору.

До основних виробничих факторів, які можуть діяти на електрозварника, відносяться:

- наявність у повітрі робочої зони загазованості та запиленості токсичними газами та аерозолями, склад яких залежить від хімічного складу вживаних матеріалів (негативний вплив на органи дихання);
- електричний струм (можливість ураження електричним струмом);

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- механічний вплив у випадку переміщення або падіння деталі (можливість одержання травм кінцівок);

- викиди розплавленого металу та шлаку (можливість отримання опіків);

- газу, які знаходяться у балонах під тиском (можливість пожежі, опіків тіла).

З метою захисту тіла від різних механічних впливів і забруднень, відповідно до норм безкоштовної видачі спеціального одягу, спеціального взуття працівникам загальних професій різних галузей промисловості, робітнику видається:

- брезентовий костюм з вогнетривким просоченням;

- куртка бавовняна на утепленій підкладці;

- штани бавовняні на утепленій підкладці;

- черевики чоловічі;

- рукавиці брезентові;

- респіратор газопилозахисний;

- щиток з непрозорим корпусом;

- нарукавники брезентові;

- килимок діелектричний.

2. Вимоги безпеки перед початком роботи

Загальні вимоги безпеки при експлуатації газових балонів.

Для електродугового зварювання застосовуються наступні газові балони:

- аргонів;

- вуглекислотні.

Балони повинні бути пофарбовані відповідно до застосованого газу кольором і мати чіткий надпис:

- кисневий синій колір, колір надпису «КИСЕНЬ» чорний;

- ацетиленовий білий колір, колір надпису «АЦЕТИЛЕН» червоний;

- аргонів сирій колір, колір надпису «АРГОН» зелений.

Експлуатація газових балонів забороняється, якщо в результаті огляду на робочому місці буде встановлено, що збіг термін періодичного огляду

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(набито на верхній частині балону), несправний вентиль або корпус балону має ушкодження (тріщини, вм'ятини тощо). В цьому випадку балон необхідно відправити на наповнюючу станцію.

Транспортувати балони до робочого місця необхідно із навернути-ми запобіжними ковпаками на спеціальному ручному візку. Конструкція візка, призначеного для транспортування балонів, повинна виключити їх удари один об одного або падіння. Допускається переміщувати балони на невеликі відстані (в межах робочого майданчику) шляхом кантування у вертикальному, злегка похилому положенні. Забороняється транспортування балонів в цеху краном.

Встановлювати газовий балон на штатному місці необхідно верти кально у спеціальній стійці із закріпленим хомутом або ланцюгом щоб уникну-ти його падіння.

Балони повинні знаходитися на відстані не менше 1 м від радіаторів опалювання та інших опалювальних приладів і не менше 5 м від джерел тепла з відкритим вогнем. При роботі поза стаціонарного робочого місця вживати за-ходи щоб уникнути нагріву балонів прямими сонячними променями.

Забороняється знімати запобіжний ковпак ударами молотка, за допомогою зубила або іншими засобами, які можуть викликати іскру або механічні ушкодження. Якщо ковпак не відкручується, балон необхідно відправити на наповнюючу станцію.

Перед приєднанням редуктора до балону необхідно:

- оглянути вхідний штуцер та накидну гайку. Переконатися у справності різьблення на гайці та штуцері, а також наявність та цілісність ущільнюючої прокладки. При пошкодженні прокладки її слід замінити на нову. Прокладки повинні мати гладку поверхню, бути знежиреними та зберігатися загорнутими у щільний папір;

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- зробити продування штуцера короточасним відкриванням вентиля для видалення сторонніх часток. Робітник, що відкриває вентиль, повинен знаходитися у стороні від струменя газу;

- регулювальний гвинт редуктора повинен бути вивернутий до повного звільнення натискної пружини (в тому числі при приєднанні до мережі);

- забороняється ремонтувати або розбирати вентиль балону. Несправний балон відправляється в наповнювану станцію, на балоні робиться напис крейдою "Обережно повний". Манометри мають бути перевірені один раз на рік з клеймом держперевірки, що засвідчує їх справність. Манометри мають бути зі шкалою, щоб межа виміру робочого тиску знаходилася на другій третині шкали. На шкалі манометра має бути нанесена червона риска, що вказує робочий тиск.

При транспортуванні, завантаженні, розвантаженні та зберіганні балонів необхідно приймати міри проти їх падіння, ударів по них та ушкоджень.

Залишковий тиск газу у балоні має бути не менше 5 МПа (0,5 кг/см³).

Перевірити наявність заземлення зварювального джерела, зварювального столу (плити) на якому належить працювати.

Перевірити наявність освітлення робочого місця або місця, де на лежить виконувати доручену роботу.

Перевірити міцність і щільність приєднання гумових шлангів допальника та редуктора.

Перевірити справність пальника, редуктора, шлангів.

Переконатися, що біля місця виробництва зварювальних робіт не має горючих матеріалів. Якщо вони прибрати їх на відстань не менше 5 метрів від місця проведення робіт.

Оглянути та підготувати робоче місце для безпечної роботи: прибрати усе зайве з під ніг. Якщо на підлозі розлита вода (чи інша рідина) витерти її. Якщо доручена робота поза стаціонарним робочим місцем електрозварника, - захистити місце електрозварювання пересувними щитами, а у разі атмосферних опадів - влаштувати навіс.

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У випадку якщо технологічним процесом передбачено застосування легкозаймистих рідин (спирту, ацетону або розчинника) для знежирення місць зварювання, останні повинні знаходитися на робочому місці у герметичній небиткій тарі об'ємом не більше 200 мл. Ці рідини повинні зберігатися на відстані не менше 15 метрів від місця зварювання.

Перед зварюванням в приміщеннях з дерев'яною підлогою і на настилах лісів - спочатку закрити підлогу або настил листами заліза або іншими вогнетривкими матеріалами та встановити посудину з водою.

Міцно укласти та закріпити вузли, деталі, що підлягають зварюванню.

Перевірити зварювальні кабелі, електродотримач, пальник на наявність ушкоджень.

Переконаватися, що безпечні умови праці для проведення зварювальних робіт забезпечені.

Окремі кабінки зварювальних постів повинні мати стінки заввишки не менше 1,8 м з проміжком між стінками і підлогою не менше 50 мм при зварюванні електродуги та з проміжком не менше 300 мм при зварюванні в середовищі захисних газів.

При зварюванні та різанні забарвленого, окисленого, брудного та іншого металу спочатку очистити його механічним способом по лінії розрізу або шва (по 100 мм на сторону).

Вимоги безпеки під час виконання роботи

Ставайте до роботи за умови, що безпечні способи її виконання вам відомі.

Будьте уважні та обережні. Виконуйте тільки ту роботу, яка входить у ваші функціональні обов'язки або доручена майстром (керівником робіт). Без завдання або дозволу керівника, без виробничої необхідності не відвідувати цехи, виробничі ділянки, лабораторії, в яких не працюєте.

Дотримуйтеся чистоти та порядку на робочому місці. Не допускайте захащення робочого місця, проходів та проїздів сторонніми предметами.

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розташовуйте матеріали, технічну документацію так, щоб ними зручно та безпечно було користуватися.

Не робити зварювальні роботи поза стаціонарним постом без письмового дозволу майстра (керівника робіт) та узгодження з пожежною охороною. Виконувати зварювальні газонебезпечні роботи (приєднання новозбудованих газопроводів до діючої системи газопостачання, технічне обслуговування і ремонт діючих газопроводів) без особи, відповідальної за виконання цих робіт, забороняється. На виконання газонебезпечних робіт видається наряд-допуск.

До виконання зварювальних робіт повинні допускатися тільки ті працівники, на яких оформлений наряд-допуск.

При зварювальних роботах на відкритому повітрі в дощову погоду та при вітрі, - робоче місце захистити від дії атмосферних опадів та вітру (навіс, ширма і тощо).

Робоче місце забезпечити засобами пожежогасіння. При їх відсутності працювати забороняється. Не допускайте захащення шляхів евакуації та підступів до засобів пожежогасіння та зв'язку.

Для захисту очей та обличчя обов'язково користуватися щитком або маскою із спеціальним захисним темним склом (світлофільтром), якій вибирають залежно від сили зварювального струму (таблиця). Якщо щиток, маска, скло мають щілини або тріщини, працювати в них не дозволяється. Без маски (щитка) на зварювальну дугу не дивитися.

Таблиця 4.1. - Світлофільтри для ручного дугового зварювання

Сила струму. А	30-60	60-150	150-270	270-350	350-600
№ світло фільтра	C4	C5	C6	C7	C8

При роботі поблизу електрозварника, працюючого з відкритою дугою, вимагати огорожування місця зварювання переносними ширмами.

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розміщення у одній ділянці двох і більше постів для зварювання допускає умови розділення kabini ширмами.

При включенні джерела живлення спочатку включити рубильник мережі, а потім джерело живлення. При виключенні спочатку вимкнути джерело живлення, а потім рубильник мережі. Забороняється використати контури заземлення та різні металокопс трукції у якості зворотного дроту зварювального ланцюга.

При роботі стежити, щоб дроти зварювальних апаратів були ізольовані та захищені від механічних ушкоджень та високих температур. Стежити, щоб зварювальні дроти не знаходилися у воді, не перетинали залізничні колії. Не можна проводити зварювання у сирих приміщеннях, а в дощову погоду без найсу.

Відстань від зварювальних дротів до трубопроводів та балонів з киснем повинна бути не менше 0,5 м, до балонів та трубопроводів з горючими газами не менше 1,0 м.

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2. Економічна ефективність виготовлення стелітів.

Собівартість виробництва ливарного цеху блоку стелітів Х30Н50Ю5Т2 та Х30Н50Ю3Т2 вагою 5 кг. (Таблиця 4.2.)

Таблиця 4.2 – Собівартість виготовлення стелітів в ливарному виробництві

№ з/п	Елементи витрат	Х30Н50Ю5Т2 (штатний стеліт)	грн
			Х30Н50Ю3Т2 (зі зменшеним вмістом алюмінію)
1	Сировина та матеріали	5 304,45	5 297,24
2	Відходи які повертаються	106,1	106,1
3	Трудовісткість	28,15	28,15
4	Основна заробітна плата	2 451,85	2 451,85
5	Допоміжна заробітна плата	507,55	507,55
6	ЕСВ	651,05	651,05
7	Загальновиробничі витрати	15 888,00	15 888,00
8	Виробнича собівартість цеха	24 802,90	24 795,69

Таблиця 4.3 – Розшифрування матеріальних витрат виробництва стеліту Х30Н50Ю5Т2

Матеріал	од.вим.	Норма	Ціна	грн
				Вартість
Ферробор ФБ-1 ДСТУ14848-69	кг	0,1050	175,00	18,38
Алюміній первинний А7 в чушках ДСТУ 11069-74	кг	2,4650	58,24	143,56
Хром металевий Х99А ДСТУ 5905:2005	кг	9,4000	83,33	783,30
Нікель катодний Н-1 ДСТУ 849-70	кг	14,9800	291,00	4 359,18
Всього				5304,45

Таблиця 4.4 – Розшифрування матеріальних витрат при виробництві стеліту Х30Н50Ю3Т2

Матеріал	од.вим.	Норма	Ціна	Вартість
Ферробор ФБ-1 ДСТУ14848-69	кг	0,11	175,00	18,38
Алюміній первинний А7 в чушках ДСТУ 11069-74	кг	2,34	58,24	136,38
Хром металевий Х99А ДСТУ 5905:2005	кг	9,40	83,33	783,30
Нікель катодний Н-1 ДСТУ 849-70	кг	14,98	291,00	4 359,18
Всього				5 297,24

Собівартість робіт при нанесенні зміцнюючого матеріалу на лопатку ГТД в зварювальному цеху (таблиця 4.5).

Таблиця 4.5 - Собівартість робіт при нанесенні зміцнюючого матеріалу на лопатку ГТД

грн		
№з/п	Елементи витрат	Сума
1	Сировина та матеріали	450,00
2	Трудовісткість	2,00
3	Основна заробітна плата	174,00
4	Допоміжна заробітна плата	87,00
5	ЕСВ	57,42
6	Загльновиробничі витрати	435,00
7	Виробнича собівартість цеха	1 203,42

Загальна собівартість виробництва стеліту Х30Н50Ю5Т2 та наплавлення його на лопатку ГТД складає 26 006,32 грн. (24 802,9+1203,42=26 006,32грн.).

Загальна собівартість виробництва стеліту Х30Н50Ю3Т2 та наплавлення його на лопатку ГТД складає 26 000,11 грн. (24 795,69+1203,42=26 000,11грн.).

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

1. Розраховані основні параметри контуру заземлення, як основного захисного фактору при роботі із приладами високої напруги. Розрахунок виконаний згідно вимог ПУЕ та відповідає нормативам охорони праці.

2. Розглянуті основні вимоги з охорони праці при нанесенні зміцнюючих матеріалів на виробництві.

3. Собівартість виготовлення та нанесення стеліту на поверхню лопатки ГТД стелітом Х30Н50Ю5Т2 та Х30Н50Ю3Т2 майже однакова. Що свідчить про можливість використання дослідного стеліту Х30Н50Ю3Т2 в якості наплавки на поверхні лопаток ГТД без додаткових витрат.

					КР.131.6121М.04.ПЗ	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз існуючих матеріалів показав, що жоден з них не відповідає в повній мірі вимогам технології зміцнюючої наплавки контактних поверхонь робочих лопаток. Використання цих матеріалів не відповідає умовам експлуатації або ж є нетехнологічним.

2. Розроблена комплексна методика дослідження структурних, технологічних та експлуатаційних властивостей дослідних сплавів.

3. Для вивчення мікроструктури сплаву використовуються методи рентгеноспектрального аналізу та растрової електронної мікроскопії. Ці методи дозволяють вивчити внутрішню будову сплаву, дослідити склад його фаз. Це дозволяє встановити вплив мікроструктури на фізичні та механічні характеристики дослідного матеріалу.

4. Стеліт Х30Н50Ю3Т2 зі зменшеним змістом алюмінію є більше технологічним при наплавленні в порівнянні зі штатним стелітом Х30Н50Ю5Т2.

5. Зносостійкість Х30Н50Ю3Т2 перевищує аналогічні показники штатного стеліту Х30Н50Ю5Т2.

6. Корозійна стійкість стелітів майже не змінилась;

7. Металографічним дослідженням не виявлено дефектів наплавлення стелітів на лопатки ГТД.

8. За результатами замірів твердості дослідних матеріалів, стеліт зі зменшеним змістом алюмінію Х30Н50Ю3Т2 не поступається штатному стеліту Х30Н50Ю5Т2.

Очевидно, що зменшення алюмінію дає можливість формувати карбіди з більш сприятливим вмістом та морфологією.

9. Собівартість виготовлення стеліту зі зменшеним вмістом алюмінію Х30Н50Ю3Т2 практично аналогічна штатному стеліту Х30Н50Ю5Т2.

					КР.131.6121М.06.00.ПЗ	Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бутенко, А.Ю. Анализ материалов для упрочнения бандажных полок лопаток турбин [текст] / А.Ю. Бутенко, А.М. Костин, А.Б. Малый // Вісник НУК імені адмірала Макарова. – 2012. – С. 137-141.
2. Жаропрочные сплавы на основе кобальта для применения в газовых турбинах // Mater. Sci. and Eng. – 1987. – С. 11-19.
3. Черепова, Т.С. / Фазовые равновесия в сплавах кобальта с карбидами и разработка износостойкого при высоких температурах материала // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Киев. – 1994. – 16 с.
4. Жаропрочность литейных никелевых сплавов и защита их от окисления/ Под ред. Б.Е. Патона. – Киев: Наука. думка. – 1997. – 336 с.
5. Чатынян, Л.А. Новые износостойкие жаропрочные сплавы для узлов трения [текст] / Л.А. Чатынян // Теория трения, износа и проблем стандартизации. – 1978. – С. 37-41.
6. Химушин, Ф.Ф. Жаропрочные стали и сплавы [текст]/Ф.Ф. Химушин//– М.: Металлургия. – 1964. – 749 с.
7. Земзин, В.Н. Жаропрочность сварных соединений [текст] / В.Н. Земзин// - Л.: Машиностроение. – 1972. – 272 с.
8. Симс, Ч. Жаропрочные сплавы [текст] / Ч. Симс, В. Хагель // – М.: Металлургия. – 1976. – 568 с.
9. Кишкин, С.Т. Литейные жаропрочные сплавы на никелевой основе [текст] / С.Т. Кишкин, Г.Б. Строганов, А.В. Логунов // - М.: Машиностроение. – 1987. – 116 с.
10. Квасницкий, В.Ф. Сварка и пайка жаропрочных сплавов в судостроении / В.Ф. Квасницкий // – Л.: Судостроение. – 1986. – 222 с.
11. Эйдельштейн, В.Е. Анализ термометрических процессов в зоне термического влияния при сварке жаропрочного никелевого сплава [текст] / В.Е. Эйдельштейн, Б.Ф. Якушин, В.И. Махненко // Автоматическая сварка. – 1980. №1. – С. 11.

					КР.131.6121М.04.00.ПЗ	Арк.
						96
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. Макаров, Э.Л. Теория свариваемости сталей и сплавов [текст] / Э.Л. Макаров, Б.Ф. Якушин // - М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2014. – 487 с.

13. Никитин, В.И. Коррозия и защита лопаток газовых турбин / В.И. Никитин // - Л.: Машиностроение. – 1987. – 272 с.

14. Данилов, Д.В. / Разработка высокожаропрочного никелевого сплава с повышенной коррозионной стойкостью в условиях воздействия морской солевой среды для монокристаллических лопаток ГТУ // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Рыбинск. – 2015. – 152 с.

15. Диаграммы состояния двойных металлических систем / Под ред. Н.П. Лякишева. В 3-х томах. – М.: Машиностроение. – 1996.

16. Костин, А.М. Материалы для упрочнения лопаток газовых турбин / А.М. Костин, А.Ю. Бутенко, В.В. Квасницкий // Автоматическая сварка. – 2014. - №6-7. - С.136-138.

17. Лабораторные и практические работы по курсу «Охрана труда» / Под ред. В.Н. Матвиенко. – Николаев: НКИ имени адмирала Макарова. – 1978. – 86 с.

					КР.131.6121М.04.00.ПЗ	Арк.
						97
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		