

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Навчально-науковий інститут матеріалознавства та зварювання ім. Є.О. Патона
Кафедра зварювального виробництва**

«На правах рукопису»
УДК 621.791

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО

Завідувач кафедри

Віктор КВАСНИЦЬКИЙ

(підпис)

«__» _____ 20__ р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
за освітньо-професійною програмою
«Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій»
зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»
на тему:
«Дифузійне зварювання сплаву ЧС88У з поверхнями з'єднань,
модифікованими висококонцентрованими потоками плазми»**

Виконав:

студент II курсу, групи ЗВ-21мп

Корсун Дмитро Сергійович

Керівник:

Зав. каф., дтн, проф.

Квасницький Віктор Вячеславович

Консультант з охорони праці

та безпеки в надзвичайних ситуаціях:

Професор, д. т. н., зав.каф.

Левченко Олег Григорович

Консультант з розроблення стартап-проєкту:

Доцент, к. е. н., доцент

Глущенко Ярослава Іванівна

Рецензент:

Зав. каф. ЛТФТ, к. т. н., доц.,

Кагляк Олексій Дмитрович

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань

Студент _____

(підпис)

Київ – 2024 рік

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

**Навчально-науковий інститут матеріалознавства та зварювання ім. Є.О. Патона
Кафедра зварювального виробництва**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма – «Інжиніринг зварювання, лазерних
та споріднених технологій»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
_____ Віктор КВАСНИЦЬКИЙ

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

**на магістерську дисертацію студенту
Корсуну Дмитру Сергійовичу**

- 1. Тема дисертації «Дифузійне зварювання сплаву ЧС88У з поверхнями з'єднань, модифікованими висококонцентрованими потоками плазми»**
науковий керівник Квасницький Віктор Вячеславович, д.т.н., проф.
затверджені наказом по університету від «15» 11 2023 р. № 3745-с.
- 2. Термін подання студентом дисертації** _____ 10 січня 2024 р.
- 3. Об'єкт дослідження** - структура та властивості модифікованих шарів жароміцного сплаву ЧС88У та дифузійнозварних з'єднань.
- 4. Вихідні дані:** хімічний склад сплаву ЧС88У, установки для дифузійного зварювання УДСВ-ДТ та ВВУ-КПІ, зразки сплаву ЧС88У з модифікованими поверхнями, обладнання для металографічних досліджень, мікротвердомір ПМТ-3, умови виготовлення – цехові; температура експлуатації – від -30 до 950 °С; тип виробництва – дрібносерійне; кількість виготовлення – 2000 одиниць на рік.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

1. Виконати аналіз: сучасного стану досліджень щодо способів і особливостей дифузійного зварювання (ДЗ) жароміцних нікелевих сплавів; рекомендованих методів модифікування поверхонь з'єднання з використанням висококонцентрованих джерел енергії; технології модифікування поверхонь сплавів та їх з'єднання; впливу модифікування на структуру та властивості оброблених поверхонь; визначити мету та завдання досліджень. **2. Визначити рекомендовані методики та обладнання для проведення досліджень:** обладнання для модифікування поверхонь та ДЗ; проведення досліджень макро- і мікроструктури, хімічного складу, твердості модифікованих шарів та зварних з'єднань. **3. Розробити та дослідити рекомендовані технології процесів виготовлення зварного виробу:** визначити вплив режимів модифікування концентрованими потоками енергії та умов ведення процесу на формування структури та зміну складу поверхонь дослідних зразків; вплив модифікування на твердість жароміцних сплавів; особливості формування ДЗ з'єднань заготовок з модифікованими поверхнями, вплив параметрів режимів ДЗ на структуру та властивості з'єднань; обґрунтувати вибір раціонального варіанту технологічного процесу виготовлення виробу; розробити технологічні прийоми зварювання заготовок зі сплаву ЧС88У з модифікованими поверхнями. **4. Виконати розробку стартап-проекту** для впровадження розробленої технології. **5. Проаналізувати небезпечні фактори і розробити заходи з охорони праці на виробництві та безпеки в надзвичайних ситуаціях.** **6. Сформулювати загальні висновки по роботі.**

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу:

1. Сутність ДЗ, рекомендовані схеми реалізації процесу, технологічні параметри (1-2 слайда); 2. Способи модифікування поверхонь з'єднання з використанням висококонцентрованих джерел енергії, зокрема концентрованих плазмових потоків (КПП), схема процесу модифікування, приклади застосування процесу (1-3 слайда); 3. Матеріали, обладнання, методика проведення досліджень (1-2 слайда); 4. Вплив режимів обробки КПП на формування структури та властивості модифікованих шарів (1-2 слайда). 5. Особливості формування ДЗ з'єднань з модифікованими КПП поверхнями сплаву ЧС88У (1-2 слайда). 6. Дослідження структурної будови ДЗ з'єднань з модифікованими КПП поверхнями сплаву ЧС88У (2-3 слайда). 7. Результати експериментальних досліджень по визначенню мікротвердості при з'єднанні заготовок з поверхнями підготовленими різними способами (2-3 слайда); 8. Технологічні рекомендації по ДЗ заготовок з жароміцного сплаву ЧС88У з модифікованими КПП поверхнями (1-3 слайда); 9. Висновки по роботі (1-2 слайда).

7. Орієнтовний перелік публікацій: 1. Дифузійне зварювання жароміцного сплаву ЧС88У з модифікованими висококонцентрованими потоками плазми поверхнями В.В. Квасницький, д.т.н., Д.С. Корсун, студ., К.М. Лепіліна, студ., Л.Г. Свиридова, викладач (НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»)

2. Дифузійне зварювання жароміцних сплавів з легованими висококонцентрованими потоками плазми поверхнями В.В. Квасницький, д.т.н., К.М. Лепіліна, студ., Д.С. Корсун, студ., Л.Г. Свиридова, викладач (НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»)

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розроблення стартап-проекту	Глуценко Я.І., к.е.н., доц.		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Левченко О.Г., д.т.н., проф. зав. каф.		

9. Дата видачі завдання 17.11.2023 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Систематизація і обробка матеріалів для включення до пояснювальної записки.	10 грудня 2023 р.	
2	Розробка проектної частини	17 грудня 2023 р.	
3	Збір додаткових матеріалів, детальна розробка і обґрунтування проектних рішень	24 грудня 2022 р.	
4	Оформлення графічного матеріалу	01 січня 2024 р.	
5	Літературна обробка і остаточне оформлення пояснювальної записки	10 січня 2024 р.	

Студент _____

Дмитро КОРСУН

Науковий керівник _____

Віктор КВАСНИЦЬКИЙ

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація представлена пояснювальною запискою, яка складається з 6 розділів, 15 графічних зображень, 27 таблиць, 97 аркушів А4 друкованого тексту та 29 посилань.

Ключові слова: жароміцні сплави, висококонцентровані потоки плазми, модифікування поверхонь, дифузійне зварювання, мікроструктура, властивості металу.

Актуальність теми: Сплав ЧС88У використовується для виготовлення деталей особливо відповідального призначення, зокрема соплових лопаток гарячого тракту газотурбінних двигунів (ГТД) і попит на такі вироби є дуже високим. Однак, враховуючи незадовільну технологічну здатність жароміцного дисперсійнотвердіючого нікелевого сплаву ЧС88У до зварювання та його високу температуру плавлення, отримання якісних зварних з'єднань цього сплаву зварюванням плавленням є проблематичним, а іноді, з урахуванням особливостей конструкції виробів, не можливим. Тому для зварювання таких жароміцних сплавів на основі нікелю доцільно використовувати технології зварювання тиском, а саме дифузійне зварювання (ДЗ). Модифікування поверхонь з'єднання за допомогою висококонцентрованих потоків плазми сприяє активації поверхонь та дозволяє забезпечити підвищені характеристики якості та надійності, термін експлуатації отриманих ДЗ зварних виробів.

Мета роботи: Встановлення закономірностей формування структури та властивостей жароміцних дисперсійнотвердіючих сплавів на основі нікелю при модифікуванні поверхонь з'єднання висококонцентрованими потоками плазми та при отриманні зварних з'єднань за технологією дифузійного зварювання.

Задачі досліджень:

1. Дослідити вплив умов та режимів модифікування висококонцентрованими потоками плазми на формування структури та властивості поверхневого шару заготовок зі сплаву ЧС88У.
2. Визначити вплив модифікованих поверхонь на формування та структуру дифузійнозварних з'єднань.
3. Розробити технологічні рекомендації щодо отримання дифузійнозварних з'єднань з модифікованими висококонцентрованими потоками плазми поверхнями.

Предмет досліджень: Процеси, що протікають при модифікуванні поверхонь жароміцних сплавів на основі нікелю висококонцентрованими потоками плазми та при їх з'єднанні дифузійним зварюванням.

Об'єкт досліджень: Структура та властивості модифікованих шарів жароміцних сплавів на основі нікелю та дифузійнозварних з'єднань.

ABSTRACT

The master's thesis is presented with an explanatory note, which consists of 6 chapters, 15 graphics, 27 tables, 97 A4 sheets of printed text and 29 references.

Key words: heat-resistant alloys, highly concentrated plasma flows, surface modification, diffusion welding, microstructure, metal properties.

Relevance of the topic: ChS88U alloy is used for the manufacture of parts of a particularly responsible purpose, in particular, nozzle blades of the hot path of gas turbine engines (GTDs), and the demand for such products is very high. However, taking into account the unsatisfactory technological ability of heat-resistant dispersion-hardening nickel alloy ChS88U for welding and its high melting temperature, obtaining high-quality welded joints of this alloy by fusion welding is problematic, and sometimes, taking into account the design features of the products, it is impossible. Therefore, for welding such heat-resistant nickel-based alloys, it is advisable to use pressure welding technologies, namely diffusion welding (DZ). Modification of joint surfaces with the help of highly concentrated plasma flows promotes the activation of surfaces and allows to ensure increased quality and reliability characteristics, the service life of the obtained DZ welded products.

The purpose of the work: Establishing the regularities of structure formation and properties of heat-resistant dispersion-hardening nickel-based alloys when modifying joint surfaces with highly concentrated plasma flows and when obtaining welded joints based on diffusion welding technology.

Research tasks:

1. To investigate the influence of conditions and regimes of modification by highly concentrated plasma flows on the formation of the structure and properties of the surface layer of blanks made of ChS88U alloy.
2. Determine the influence of modified surfaces on the formation and structure of diffusion-welded joints.

3. Develop technological recommendations for obtaining diffusion-welded joints with surfaces modified by highly concentrated plasma flows.

Subject of research: Processes that take place during the modification of the surfaces of nickel-based high-temperature alloys by highly concentrated plasma flows and their connection by diffusion welding.

Object of research: Structure and properties of modified layers of nickel-based heat-bearing alloys and diffusion-welded joints.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	11
ВСТУП	12
1. ОСОБЛИВОСТІ ДИФУЗІЙНОГО ЗВАРЮВАННЯ ТА МЕТОДІВ ОБРОБКИ ВИСОКОКОНЦЕНТРОВАНИМИ ПОТОКАМИ ЕНЕРГІЇ.	13
1.1 Сутність, технологічні параметри та схеми дифузійного зварювання, сфери застосування.	13
1.2 Дифузійне зварювання жароміцних дисперсійнотвердіючих сплавів на основі нікелю.	19
1.3 Особливості різних методів модифікування поверхні матеріалів.	21
1.4 Генерація високоенергетичних плазмових потоків.	23
1.5 Особливості взаємодії високоенергетичних потоків плазми із поверхнями металів та сплавів	29
1.6 Використання високоенергетичних потоків плазми для модифікування поверхонь металів та сплавів.	30
2. МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ	34
2.1 Хімічний склад та властивості жароміцного сплаву ЧС88У	34
2.2 Обладнання для проведення експериментальних досліджень	39
2.3 Методика проведення експериментальних досліджень щодо визначення структури та властивостей модифікованих шарів заготовок та їх зварних з'єднань.	41
3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МОДИФІКУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ ВИСОКОЕНЕРГЕТИЧНИМИ ПОТОКАМИ ПЛАЗМИ НА ФОРМУВАННЯ З'ЄДНАНЬ ПРИ ДИФУЗІЙНОМУ ЗВАРЮВАННІ	43
3.1 Дослідження впливу параметрів та умов обробки високоенергетичними потоками плазми на формування структури та властивості модифікованого шару.	43

					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		8

3.1.1. Визначення впливу вихідного стану сплаву та умов ВПП на формування текстури поверхневих шарів.....	43
3.1.2. Вплив параметрів ВПП на формування структури та властивості оброблених поверхонь.....	45
3.2 Дослідження дифузійнозварних з'єднань сплаву ЧС88У з модифікованими ВПП поверхнями заготовок.	47
3.2.1 Дифузійне зварювання сплаву ЧС88У та схеми дослідження отриманих з'єднань.	47
3.2.2. Аналіз структурної будови, складу та властивостей дифузійнозварних з'єднань сплаву ЧС88У з модифікованими поверхнями.	52
4.ТЕХНОЛОГІЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ДИФУЗІЙНОМУ ЗВАРЮВАННЮ ЖАРОМІЦНИХ СПЛАВІВ З МОДИФІКОВАНИМИ ВПП ПОВЕРХНЯМИ ЗАГОТОВОК.....	59
ВИСНОВОК.....	63
5. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЄКТУ	64
5.1. ОПИС ІДЕЇ ПРОЕКТУ (ТОВАРУ, ПОСЛУГИ, ТЕХНОЛОГІЇ).....	65
5.2. Технологічний аудит ідеї проекту.....	66
5.3 АНАЛІЗ РИНКОВИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАПУСКУ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	67
5.4. РОЗРОБЛЕННЯ РИНКОВОЇ СТРАТЕГІЇ ПРОЕКТУ	75
5.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	78
Висновки	81

6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	82
6.1 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів (ШНВФ)	82
6.2 Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці	84
6.2.1 Забезпечення вимоги організації робочих місць	85
6.2.2 Вимоги до експлуатації зварювального обладнання	87
6.2.3 Захист від теплового випромінювання	87
6.2.4 Вимоги до електробезпеки.....	88
6.3 Розрахунок інженерного рішення	88
6.4 Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях.....	89
6.4.1 Пожежна безпека	90
6.4.2 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях	92
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ	94
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	95

‘

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ДЗ- дифузійне зварювання

ВПП- високоенергетичні потоки плазми

МПП- магнітоплазмовий прискорювач

МПП КГ- магнітноплазмовий прискорювач компактної геометрії

КССПП- квазістаціонарний сильнострумний плазмовий прискорювач

ТЕП- торцевий ерозійний прискорювач

					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		11

ВСТУП

Дифузійне зварювання - це зварювання тиском, яке здійснюється за рахунок утворення міжатомних зв'язків контактуючих деталей в умовах підвищеної температури і незначної пластичної деформації, що сприяє розвитку дифузійних процесів [1]. Цей спосіб ідеально підходить для з'єднання деталей зі специфічною конфігурацією та для матеріалів, для яких зварювання плавленням утруднене або не можливе, враховуючи не задовільну технологічну здатність матеріалу до зварювання плавленням. Окрім цього, застосування технології дифузійного зварювання дозволяє забезпечити мінімальний рівень залишкових деформацій виробів, що є вкрай важливим при виготовленні деталей складної геометричної форми. В дійсній роботі представлені результати досліджень щодо впливу модифікування висококонцентрованими потоками плазми на структурну будову та властивості поверхонь дисперсійнотвердіючого нікелевого сплаву ЧС88У, впливу поверхневомодифікованих шарів на формування, властивості та структуру зварних з'єднань, які отримані за технологією дифузійного зварювання. Актуальність проведених досліджень пов'язана з тим, що стан, властивості та структура поверхонь з'єднання мають визначальний вплив не лише на стадіях утворення фізичного контакту та активації поверхонь, а і відіграють значну роль на стадії об'ємної взаємодії, яка пов'язана з розвитком дифузійних та рекристалізаційних процесів.

					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>	<i>Адк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		12

1. ОСОБЛИВОСТІ ДИФУЗІЙНОГО ЗВАРЮВАННЯ ТА МЕТОДІВ ОБРОБКИ ВИСОКОКОНЦЕНТРОВАНИМИ ПОТОКАМИ ЕНЕРГІЇ.

1.1 Сутність, технологічні параметри та схеми дифузійного зварювання, сфери застосування

Дифузійне зварювання - це зварювання тиском, яке здійснюється за рахунок утворення міжатомних зв'язків поверхневих шарів контактуючих деталей в умовах підвищеної температури і незначної пластичної деформації, що сприяє розвитку дифузійних процесів [1].

У більшості випадків дифузійне зварювання (ДЗ) виконується у вакуумі при сумарному залишковому тиску газового середовища від 10^{-2} до 10^{-3} Па. З'єднання формується внаслідок сумісного впливу тиску стиснення (p , МПа) та температури (T , К), які діють протягом певного періоду часу (t , с). Також можливо проводити дифузійне зварювання в середовищі інертного або активного відновлювального газу, наприклад, аргону, або аргону з добавками фторидів. Однак, застосування активних газових середовищ з добавками фторидів може призвести до інтенсифікацій процесів високотемпературної корозії, що погіршує санітарно-гігієнічні умови праці і тому така технологія має обмежене застосування.

З'єднання, утворені дифузійним зварюванням, відрізняються високими характеристиками міцності, стійкістю до корозійного руйнування та високою надійністю. Тому вакуумне дифузійне зварювання використовується для створення надзвичайно надійних виробів. Способом ДЗ можна зварювати різні конструкційні матеріали як в однорідному, так і в різнорідному сполученні, незалежно від їх твердості. Для дифузійного зварювання не потрібне застосування спеціальних електродів, флюсів, присадкових дротів, тощо.

					<i>ЗВ-21мп.02.00.000ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Корсун Д.С.</i>			<i>Дифузійне зварювання сплаву ЧС88У з поверхнями з'єднань, модифікованими високонцентрованими потоками плазми</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Архів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Квасницький В.В.</i>					1	75
<i>Н. Контр.</i>		<i>Лисак В.В.</i>				<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського НН ІМЗ. Е. О. Патона</i>		
<i>Затверд.</i>		<i>Квасницький В.В.</i>						

Вага зварної конструкції не збільшується. Після зварювання немає необхідності видаляти шлак або окалину з ділянки зварного шва.

Дифузійне зварювання використовується для з'єднання матеріалів, які мають обмежену технологічну здатність до зварювання плавленням та які важко або неможливо з'єднати між собою в однорідному або різнорідному сполученні (наприклад, сталь з чавуном, титаном, ніобієм, вольфрамом, металокерамікою; метал зі склом, графітом, кварцом та багато інших). Цим способом зварюють сплави на основі заліза, нікелю, інших кольорових металів, тугоплавкі і хімічно активні метали. Додатковою перевагою способу є можливість отримання багат шарових з'єднань за один цикл нагріву, за технологіями ДЗ отримують біметалічні вироби. Узагальнена схема конвенційного дифузійного зварювання наведена на рисунку 1.1

Рисунок 1.1 – Схема дифузійного зварювання і розподілу температури нагрівання деталей, що з'єднуються [2].

Основними технологічними параметрами процесу є температура нагріву заготовок T , $^{\circ}\text{C}$; напруження p , МПа або зусилля стиску F , Н; час зварювання t , хв; величина залишкового тиску у вакуумній камері p_k , Па. Час звитримки заготовок при температурі дифузійного зварювання може варіюватися від кількох хвилин до десятків хвилин і навіть годин. Також варто пам'ятати про важливість забезпечення чистоти поверхонь зварювання, їх характеристики

					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						14
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

шорсткості та хвилястості. Для підготовки поверхонь до зварювання звичайно використовують механічну обробку, зокрема шліфування.

На перебіг та кінетику процесів дифузійного зварювання значний вплив має хімічний склад залишкової атмосфери в камері. Для поліпшення умов ведення процесу дифузійного зварювання застосовують різноманітні спеціальні заходи, такі як використання безмасляних засобів відкачування (вакуумних насосів) або застосування азотних пасток. Зазвичай підготовка заготовок здійснюється механічно, їх очищують від забруднень і застосовують різні підшари для покращення умов формування з'єднань.

Якісна механічна обробка поверхонь забезпечує кілька важливих аспектів при формуванні з'єднань дифузійним зварюванням: більш щільне початкове прилягання зварюваних заготовок; видалення з поверхні забрудненого шару та зменшення товщини залишкових оксидних плівок; підвищення щільності дислокацій; підвищення розмірної точності готового виробу; можливість зниження температури, тиску і часу зварювання за рахунок активації поверхневого шару та поліпшення мікрогеометрії поверхні.

Очищення поверхонь від забруднень, таких як сліди жирів, олії, полірувальної пасти, може проводитися за допомогою розчинників, таких як ацетон, спирт, чотирихлористий вуглець та інші, а також шляхом нагрівання і витримки у вакуумній камері. В окремих випадках застосовують відпал заготовок у середовищі водню.

До режимів зварювання немає жорстких рекомендацій. Вибір величин тиску, часу та температури здійснюється з урахуванням властивостей отриманих з'єднань та умов ведення процесу ДЗ. Зокрема зварювання в високому вакуумі може бути реалізоване при зменшених технологічних параметрах режимів. Основними факторами є умови зварювання виробу, можливість розміщення металів та сплавів через зростання зерна, що вимагає застосування певних обмежень як за температурою нагріву, так і за величиною деформацій.

					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						15
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ док.м.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Температуру ДЗ звичайно призначають у межах (0,6...0,8) від $T_{пл}$ матеріалу за абсолютною шкалою температур.

Швидкості нагріву і охолодження залежать від застосованого джерела тепла і в більшості випадків їх не регламентують.

Час витримки при дифузійному зварюванні залежить від температури (Т), тиску (р), допустимої залишкової деформації, чистоти обробки контактних поверхонь і деформаційної здатності матеріалу. Цей час може коливатися від декількох секунд до декількох годин (частіше 5...10 хв).

Тиск, як і час зварювання розраховують за заданою обробкою поверхні, величиною пластичної деформації і швидкістю повзучості жароміцних сплавів [2]. Для більшості відомих конструкційних матеріалів тиск може змінюватися в діапазоні від 1 до 50 МПа.

Дифузійне зварювання виконують за двома основними схемами: з проміжними прокладками та без проміжних прокладок. Проміжні прокладки використовуються при зварюванні різнорідних матеріалів, які відрізняються за своїми фізико-механічними властивостями або у випадку небезпеки формування крихких суцільних прошарків інтерметалідів. Аналіз діаграм стану дозволяє оцінити схильність до утворення інтерметалідних прошарків. Використання прокладок дозволяє знизити температуру зварювання однорідних матеріалів та отримати зварні з'єднання без утворення крихких інтерметалідних фаз. Проміжний шар вводять у вигляді фольги, дисперсних матеріалів, тощо [1].

При дифузійному зварюванні, як і при інших способах зварювання тиском, загально визнаними є 3 стадії утворення зварного з'єднання:

1. Утворення фізичного контакту поверхонь.
2. Активація поверхонь.
3. Об'ємна взаємодія в області зварного шва.

Формування фізичного контакту під час дифузійного зварювання відбувається при низькоінтенсивній дії через розвиток в часі деформацій

					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

повзучості. Повзучість представляє собою пластичну деформацію металу при постійній дії напружень, які за своєю величиною менші за границю плинності основного матеріалу. Процеси повзучості інтенсифікуються під дією підвищеної температури, а величина деформацій також залежить від часу зварювання.

Активацію поверхонь заготовок при дифузійному зварюванні можна виконати термічно, хімічно або деформаційно. В окремих випадках можливе застосування ультразвукових коливань, радіаційної обробки або розчинення оксидних плівок у розплаві з їхнім подальшим видаленням з зони з'єднання під дією тиску стиснення. Звичайно, при ДЗ жароміцних сплавів активація поверхонь забезпечується процесами диссоціації та сублімації оксидів та розчиненням кисню в основному металі під впливом високих температур нагріву при зварюванні.

Об'ємна взаємодія металів призводить до усунення хімічної та фізичної недосконалості будови металу в зоні зварного стику за рахунок розвитку та інтенсифікації дифузійних процесів, утворення спільних зерен металу з'єднаних заготовок або релаксації напружень [1].

Технологія дифузійного зварювання використовується для виготовлення великогабаритних заготовок та деталей складної геометричної форми, отримання яких механічною обробкою, методами обробки тиском або литвом є неможливим або утрудненим. Спосіб знайшов широке застосування при виготовленні прицевійних деталей. Особливо ефективно застосування дифузійного зварювання в досліду та дрібносерійному виробництві вважається перспективним для отримання багатошарових пустотілих конструкцій типу панелей з титанових або алюмінієвих сплавів з наповнювачем складної форми (гофри, стільники, ребра та інші) методом поєднання дифузійного зварювання та формоутворення в режимі надпластичності [3].

										Арк.
										17
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата						

ЗВ-21мп.02.000ПЗ

Обладнання для дифузійного зварювання

Спеціалізовані дифузійні вакуумні установки для зварювання знаходять широке застосування в різних галузях промисловості та виробництва. До складу цих установок у загальному випадку входять робоча вакуумна камера, механізм для створення зварювального тиску, джерело нагріву, вакуумна система, апаратура управління та контролю. На рисунку 1.2 показана установка для дифузійного зварювання в вакуумі.

Рисунок 1.2 – Схема установки для зварювання в вакуумі: 1 – привід стиснення; 2 - вакуумна камера; 3,6 – опори; 4 – зварні деталі; 5 – нагрівач[4]

Робоча вакуумна камера зазвичай має форму, що може бути циліндричною або прямокутною, і виготовляється з корозійно-стійкої сталі, де стінки оснащені системою водяного охолодження. Виріб, який має бути підданий зварюванню, може бути розміщений на спеціальних опорах або в певному пристосуванні. Зазвичай встановлюється одна камера, проте для підвищення продуктивності можуть використовуватися кілька камер для безперервного завантаження і вивантаження заготовок і виробів (камери шлюзування). Зусилля стиснення, необхідне для проведення ДЗ, генерується за допомогою гідравлічного, пневматичного або механічного пристрою. В

					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

окремих випадках стискання заготовок може бути забезпечене за допомогою спеціальних пристосувань, які використовують ефект різниці коефіцієнтів лінійного термічного розширення матеріалів заготовок і елементів пристосування. Зазначені пристосування дозволяють виконувати зварювання в вакуумних і водневих печах, а також використовувати "м'які" оболонки-камери. Прикладення тиску стиснення до заготовок здійснюється через перепад тисків між зовнішнім газовим середовищем і вакуумованим простором, можливе застосування установок для гарячого ізостатичного пресування. Такий підхід є особливо доцільним для отримання з'єднань крихких матеріалів. У випадках установок для дифузійного зварювання найчастіше використовуються гідравлічні та механічні системи.

Щодо способів та джерел нагріву заготовок, найбільш поширеними є застосування радіаційного, інфрачервоного, індукційного (струмами високої частоти, СВЧ) та контактного способів. Для подачі потрібної енергії використовують генератори високої частоти і спеціалізовані трансформатори. Технологія нагрівання СВЧ є найбільш універсальною і дозволяє ефективно нагрівати заготовки в розведеному стані на відміну від контактного методу, що покращує умови перебігу процесів диссоціації та сублімації оксидних плівок, які перешкоджають утворенню міжатомних зв'язків з'єднаних матеріалів. Це має важливе значення для інтенсифікації процесу очищення поверхонь, які підлягають зварюванню. Однак цей метод непридатний для зварювання діелектричних матеріалів, таких як кераміка, кварц, скло. Для нагрівання таких матеріалів можуть бути використані тліючий розряд, розфокусований електронний промінь або світлове випромінювання [3].

1.2 Дифузійне зварювання жароміцних дисперсійнотвердіючих сплавів на основі нікелю

Жароміцні дисперсійнотвердіючі сплави на нікелевій основі широко використовуються в автомобільній, аерокосмічній, енергетичній, атомній і

										Арк.
										19
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата						

ЗВ-21мп.02.000ПЗ

інших галузях промисловості. Деталі з таких сплавів часто мають складну конфігурацію, що робить вкрай важким і дорогим їхнє отримання звичайними методами зварювання або литтям.

Застосування дифузійного зварювання в даному випадку має великий потенціал, оскільки цей метод дозволяє поєднувати складні елементи без розплавлення та непередбачених змін у їхній формі та структурно-фазовій будові. Крім того, дифузійне зварювання також забезпечує можливість отримання з'єднань із властивостями та мікроструктурою, що наближені до початкового матеріалу. Проте, ускладнення в отриманні з'єднань з жароміцних сплавів на основі нікелю за допомогою дифузійного зварювання в основному пов'язане з наявністю оксидного шару на поверхнях з'єднуваних заготовок, що ускладнює процес формування зварного з'єднання. Також ускладнено проведення зварювання контактних поверхонь через обмежену пластичність сплавів цієї категорії під час утворення фізичного контакту, як першої стадії формування з'єднання.

Для видалення оксидної плівки під час зварювання без проміжних прошарків застосовують жорсткі режими зварювання [5].

Один із методів активації поверхонь для зварювання включає використання проміжних прошарків, які сприяють локалізації пластичної деформації безпосередньо в області з'єднання. Це, в свою чергу, сприяє виникненню зсувних деформацій на контактних поверхнях і призводить до руйнування оксидних плівок.

При ДЗ використовують багато видів проміжних прошарків, наприклад в роботі [6] для зварювання сплаву Rene41 використовували проміжний прошарок на основі сплаву Ni-2Be. Використання даного прошарку дозволило отримати ділянки схоплювання між поверхнями при підвищенні температури зварювання з 1079°C до 1176°C. Отримання ділянок схоплювання пов'язане з тим, що протікання дифузійних процесів проходило

									Арк.
									20
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата					

ЗВ-21мп.02.000ПЗ

більш інтенсивно і за зменшенням градієнта хімічної та механічної неоднорідності на границі основного металу з прошарком [5].

В роботі [7] виконувалося з'єднання зразків зі сплаву Nimonic 90 за температури зварювання в 1100°C з використанням проміжних прошарків у вигляді фольги нікелю. До зразків прикладався тиск стиснення до 230 МПа після чого зразки піддавали витримці протягом 480 хвилин і максимальна міцність на зріз при цьому спостерігалася при використанні прошарку з фольги нікелю [5].

Однією з актуальних проблем при отриманні якісного з'єднання нікелевих дисперсійнотвердіючих сплавів є формування якісної твердофазної структури, оскільки дисперсійнотвердіючі сплави на нікелевій основі мають високу температуру плавлення (1150...1350°C) і високу жароміцність, що робить зварювання цих матеріалів досить непростим завданням, оскільки необхідно провести обробку з'єднуваних сплавів при температурах близьких до температури плавлення, що можливо при використанні дифузійного зварювання. Також при таких температурах зварювання з'являються значні залишкові напруження та пластичні деформації, які в подальшому можуть призвести до появ тріщин при зварюванні [8]. В роботі [9] було виконано дифузійне зварювання дисперсійнотвердіючого жароміцного сплаву ЧС88У і при ДЗ за температури 1150°C еквівалентні пластичні деформації склали від 0.15 до 0.4 %, що дозволило отримати з'єднання з короткочасною міцністю на рівні 90-95 % від міцності вихідного жароміцного сплаву.

1.3 Особливості різних методів модифікування поверхні матеріалів

Під модифікацію поверхні розуміють застосування певного методу обробки, який змінює структуру матеріалу та/або хімічний склад поверхневого шару, не змінюючи при цьому вихідних розмірів виробів. Виконується модифікування за рахунок швидкого нагріву та охолодження поверхневого

									Арк.
									21
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата					

ЗВ-21мп.02.000ПЗ

шару, рідкофазного перемішування, розплавлення тонких приповерхневих шарів матеріалів або шляхом встановлення хімічної взаємодії атомів поверхні з атомами робочого контрольованого середовища [10].

Технологічними задачами модифікування поверхні для ДЗ є її активація, створення підвищеної щільності дислокацій, нанесення та/або видалення поверхневого шару матеріалу, оксидів та забруднень, формування певної топографії поверхні для подальшого зварювання [10].

Можливе модифікування поверхонь різними способами, але найбільш поширеними є такі чотири способи модифікування поверхні:

1. Потокком або струменем плазми.
2. Лазерним пучком.
3. Електронним променем або пучком.
4. Іонним пучком.

Обробка плазмовими, лазерними та електронними пучками дозволяє суттєво покращити властивості поверхневого шару за допомогою термічного впливу, який може включати як розплавлення матеріалу, так і його обробку без розплавлення поверхні виробу. Також можливе проведення легування поверхневих шарів шляхом нанесення тонкого прошарку легуючого елемента на поверхню виробу перед остаточною модифікуючою та легуючою обробкою із застосуванням енергії пучків. При плазмовій обробці, не рідко, легуючий елемент вводиться безпосередньо в газове плазмоутворююче середовище [10].

Ці методи модифікації характеризуються високою концентрацією енергії, що дозволяє досягти значної швидкості як нагрівання, так і охолодження поверхневого шару виробу. Охолодження тонкого перегрітого поверхневого шару відбувається в першу чергу за рахунок відведення тепла в об'єм основного матеріалу, яких залишається холодним. Найшвидше охолодження можна досягти при застосуванні локалізованої лазерної обробки.

									Арк.
									22
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата					

ЗВ-21мп.02.000ПЗ

Модифікація поверхонь у процесі дифузійного зварювання, як вказано у пункті 1.2, необхідна для надання деталям потрібних властивостей, отримання необхідного рельєфу поверхонь заготовок шляхом оплавлення поверхневого шару або без оплавлення за рахунок зміни структурно-фазового складу, при забезпеченні активації поверхонь з'єднання, шляхом створення залишкових напружень та деформацій, підвищення щільності дислокацій виходи яких на поверхню слугують активними центрами для формування міжатомних зв'язків в процесі ДЗ.

При рекристалізації забезпечується впорядкування структурної будови але надмірні режими модифікування часто призводять до утворення дефектів кристалічної структури в процесі імпульсного нагріву [10].

Однією з головних проблем модифікування поверхонь високоактивних матеріалів та сплавів в складі яких присутні хімічні елементи з високою спорідненістю до кисню є те, що вакуум не завжди забезпечує необхідний захист від окиснення, через що, якщо матеріал має високу спорідненість з киснем до складу захисної вакуумної атмосфери необхідно додавати високоактивні відновлювальні гази, зокрема HF і BF_3 .

Додавання цих газів можливе і при модифікуванні поверхонь матеріалів та сплавів високоенергетичними потоками плазми.

1.4 Генерація високоенергетичних плазмових потоків.

Для отримання високоенергетичних потоків плазми використовують електромагнітні плазмові прискорювачі з власним азимутальним магнітним полем. В таких пристроях прискорення плазми відбувається за рахунок сили, яка виникає при взаємодії розрядного струму з власним магнітним азимутним магнітним полем протікаючого електричного струму. На сьогоднішній день існують імпульсні прискорювачі, які дозволяють отримувати потоки плазми різного хімічного складу, зокрема азотної, водневої та ін. Однак однією з

									Арк.
									23
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата					

ЗВ-21мп.02.000ПЗ

основних проблем для таких систем є ефективність передачі енергії від накопичувача енергії до сформованого плазмового струменю.

Підвищення енергоємності таких потоків плазми може бути забезпечене шляхом або скорочення часу передачі енергії від накопичувача до плазмового утворення, або за допомогою стимулювання процесів стримання механізмів, які призводять до втрати плазми, що викликає низку значних технічних проблем. Тому важливо використовувати квазістаціонарні прискорюючі системи для отримання імпульсних висококонцентрованих потоків плазми. Зараз такі системи знаходяться на третьому етапі власного розвитку [11].

Перший етап включав використання прискорювачів з суцільними металевими електродами, які працювали в режимі електронного перенесення електричного струму. Робота цих прискорювачів полягала в тому, що за рахунок того, що струм "ковзає" вздовж аноду плазмового генератора сформований електричний струм виводився за зріз інжектору плазмового утворення. Унаслідок цього ефекту електрони не просто рухаються до електрода, а ковзають уздовж його поверхні, що веде до значного руйнування анодного вузла плазмового прискорювача. Це явище отримало назву "криза струму". В результаті інтенсивного розвитку ефекту "кризи струму" продукти розпаду інтенсивно випаровуються з подальшою іонізацією, а потім потрапляють в канал, забруднюючи контрольоване плазмове середовище. Ці забруднення значно обмежують можливості підвищення вихідних параметрів контрольованого плазмового високоенергетичного струменю. Вирішити ці проблеми та усунути негативний вплив парової фази в рамках електронного струмопереносу між електродами виявилось неможливим. Таких проблем можна уникнути лише тоді, коли струм в прискорюючому каналі плазмового генератора переноситься за рахунок дрейфу іонів впоперек силових ліній магнітного поля. Реалізація згаданого підходу є можливою лише при застосуванні систем з іонним струмоперенесенням. Прикладом такого прискорювача є магнітоплазмовий прискорювач (МПП).

									Арк.
									24
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата					

ЗВ-21мп.02.000ПЗ

Оскільки для іонного струмопереносу в розрядному пристрої прискорювача іони в прискорюючий канал необхідно подавати зі сторони аноду, то зовнішній електрод в МПП виконаний у вигляді стрижнів, які коаксіально розташовані навколо центрального електроду. Це дозволяє іонам потрапляти в канал через проміжки які утворюються між анодними стрижнями. Заміна суцільного зовнішнього електрода стрижневим практично повністю усуває ефект ерозії анодного вузла МПП. Але важливо відзначити, що при характерних для МПП великих розрядних струмах намагнічуються як електрони, так і утворені в плазмовому розряді іони. Однак через значну масу іони дрейфують від анода до катода, що забезпечує їх переміщення в каналі. Під час цього процесу іони набувають значної кінетичної енергії за рахунок дії електричного поля під час руху вздовж його силових ліній. Цей ефект призводить до іонно-дрейфового прискорення струменю імпульсної плазми. Стиснення плазми в системі двох електродів виникає внаслідок її прискорення за допомогою взаємодії поздовжньої складової струму навколо катодного вузла плазмового прискорювача. В результаті цього ефекту, на виході з розрядного пристрою формується стиснений високоенергетичний потік плазми, параметри якого значно вищі, ніж в межах міжелектродного проміжку. У магнітоплазмовому прискорювачі, як і в інших плазмових системах, де плазма контактує з металом електродних вузлів, відбувається інтенсивна ерозія електродів.

На даному етапі інтенсивно вивчаються стиснені високоенергетичні потоки плазми середніх енергій, які генеруються газорозрядними магнітоплазмовими прискорювачами (МПП) з компактною геометрією. У подальшому для досліджень будуть використовуватися саме такі магнітоплазмові прискорювачі з компактною геометрією (МПП КГ).

					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						25
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Рисунок 1.3 – Імпульсний газорозрядний прилад МПП КГ [11].

Така система має численні переваги, зокрема, вона дозволяє генерувати стиснені потоки з параметрами плазми, що є достатніми для ефективної модифікації різних за складом та властивостями матеріалів, при відносно невеликій накопиченій енергії (до 15 кДж) та відносно невеликому розрядному пристрої (діаметр зовнішнього електрода близько 50 мм).

Внутрішній електрод, який виступає у ролі катода, виготовлений з міді у формі усіченого конуса з внутрішнім отвором. Зовнішнім електродом є циліндр, створений за допомогою коаксіального розташування восьми мідних стрижнів, які вмонтовані симетрично по колу. Також варто пам'ятати про особливості геометрії розрядного пристрою МПП КГ. У цьому розрядному пристрої ізолятор з розвиненою поверхнею заглиблений у виточку фланцю. При цьому робоча частина внутрішнього електрода знаходиться на певній відстані від нього, що робить неможливим зміщення зони іонізації під час розрядного імпульсу в напрямку ізоляторів.

Швидкість руху утворених МПП КГ плазмових структур становить $(4...7) \times 10^6$ см/с. Пристрій може працювати з будь-якими газами та їх сумішами як в режимі залишкового газу так і з імпульсною подачею робочого газового середовища. Але вакуумна камера має бути заздалегідь відкачана вакуумними насосами після чого вона промивається робочим газом та наповнюється ним до визначеного робочого тиску.

					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

В даний час створено новий квазістаціонарний сильнострумний плазмовий прискорювач (КССП), який дозволив суттєво підвищити робочі параметри плазми [12]. Він обладнаний двоетапною плазмодинамічною системою з магнітним екрануванням прискорюючих елементів каналу. Ця система функціонує в режимі іонного струмоперенесення з іонно-дрейфовим прискоренням плазми.

Рисунок 1.4 – Загальна принципова блок-схема КССП [12].

КССП просторово розділена на дві основні зони: зону іонізації та зону прискорення, що включає ефект магнітного екранування твердотілих елементів електродної конструкції. Прискорювач живиться через анодні та катодні трансформатори для забезпечення перетворення носіїв струму. Описуючи структуру квазістаціонарного сильнострумного плазмового прискорювача, можна виділити його головні компоненти: систему вакуумного відкачування та подачі робочого газу, вакуумну камеру, систему електричного та газового живлення, комплекс керування та контролю робочих параметрів пристрою. Подачу енергії до розрядного пристрою квазістаціонарного сильнострумного плазмового прискорювача забезпечують за допомогою ємнісних накопичувачів енергії.

					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						27
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Швидкість стисненого потоку плазми в квазістаціонарному сильнотруменевому плазмовому прискорювачі коливається від 70 до 200 км/с в залежності від режимів його роботи.

Системи квазірезонансного сильнотруменевого плазмового прискорювача суттєво видрізняються за параметрами імпульсних плазмових потоків, перевершуючи всі інші плазмодинамічні системи, які існують на сьогоднішній день.

Також варто розглянути стиснені ерозійні плазмові потоки.

Стиснені ерозійні плазмові потоки були сформовані при застосуванні повітряного газового середовища за атмосферного тиску за допомогою спеціального торцевого ерозійного прискорювача ТЕП (рисунок 1.5).

Рисунок 1.5 – Загальна схема розрядного пристрою ТЕП [11].

Використання ТЕП дозволяє стабільно генерувати струмень стисненої плазми в умовах вакуумного (безгазового) середовища.

Зовнішній електрод, що складається з чотирьох стрижнів (3), які розташовані симетрично по колу та внутрішній (центральний) електрод (2) закріплені у корпусі-ізоляторі циліндричної форми (1). Корпус виготовлений з органічного скла. Робочі торці електродних стрижнів та корпус-ізолятора розташовані в одній спільній площині. З метою запобігання ефекту «електричного пробою» між зовнішніми і внутрішнім електродами на неробочій поверхні ізолятора корпусу 1 була виконана ізоляція виступів 4. Робочий струм за зовнішнім електродом ТЕП розподілений принципово неріднорідно, а сам електрод виготовлений у вигляді секційованого вузла.

									Арк.
									28
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата					

ЗВ-21мп.02.000ПЗ

1.5 Особливості взаємодії високоенергетичних потоків плазми із поверхнями металів та сплавів

Дія високоенергетичних потоків плазми на тіло, що знаходиться в твердому стані викликає утворення градієнтних приповерхневих ударно-хвильових структур, що забезпечує формування регульованої дислокаційної структури. Дислокації - це дефекти, які виникають внаслідок порушення періодичності розташування атомів у кристалічній ґратці. В процесі обробки відбувається часткове екранування поверхні, що піддається модифікуванню. Екранування оброблюваної поверхні - це технологічний процес, який використовується для захисту або ізоляції певної області поверхні від впливу зовнішніх чинників чи процесів [13].

Під впливом високоенергетичного потоку плазми, що рухається з надзвуковою швидкістю на поверхні оброблюваного зразка утворюється ударно-стиснений плазмовий шар. Просторове розташування цього шару визначається балансом між тиском високоенергетичного потоку плазми та газокінетичним розльотом приповерхневої плазми.

Утворений шар плазми екранує поверхню від дії плазмового потоку, що призводить до того, що енергія, яка передається до поверхні оброблюваного матеріалу, перестає зростати і починає стабілізуватися. Швидке нагрівання поверхні до температури, що перевищує температуру плавлення матеріалу, забезпечується саме цими високими енергетичними параметрами імпульсної плазми. Через те, що тривалість процесу модифікації дуже коротка, енергія з поверхні не встигає проникнути глибоко в оброблюваний матеріал і фокусується в поверхневому шарі. Це забезпечує його розплавлення.

Формування дрібнодисперсної структури у приповерхневому шарі забезпечується швидким охолодженням розплаву після закінчення етапу імпульсної дії ВПП на поверхню матеріалу. Також важливим чинником, що має суттєвий вплив на формування кінцевої структури поверхневого шару є величина тиску ВПП на матеріал.

									Арк.
									29
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата					

ЗВ-21мп.02.000ПЗ

В роботі [14] проводилися прямі виміри величини тиску імпульсного потоку плазми на поверхню оброблюваного виробу за допомогою спеціального датчику. Аналіз результатів досліджень свідчать, що величина тиску ВПП на поверхню зразка змінюється в залежності від режимів роботи МПП компактної геометрії і дистанції віддалення зрізу розрядного пристрою від поверхні деталі. В проведених дослідженнях величина тиску змінювалася від 10 до 30 атм. Через такі високі значення діючого на поверхню зразку тиску спостерігалось утворення ділянок нестійкості у структурі розплавленого поверхневого шару матеріалу.

Фізико-механічні властивості обробленої поверхні та глибина модифікованої ділянки, в основному, визначається параметрами та хімічним складом плазмового середовища, тривалістю його дії при модифікуванні поверхні.

1.6 Використання високоенергетичних потоків плазми для модифікування поверхонь металів та сплавів

Використовують плазмові потоки як для отримання нових матеріалів, так і для модифікування існуючих матеріалів.

При використанні високоенергетичних потоків плазми можливо виділити три основних види режимів обробки:

1. Режим слабкої дії – нагрівання поверхневого шару до температури, яка менша за температуру плавлення матеріалу.
2. Режим середньої дії - плавлення поверхневого шару з наступним швидким охолодженням та кристалізацією розплаву металу.
3. Режим сильної дії – нагрівання поверхневого шару до температури кипіння та інтенсивного випаровування.

До головних переваг застосування з метою модифікування поверхонь високоенергетичних потоків плазми можна віднести:

1. Відносно значну тривалість існування імпульсу високоенергетичної плазми.

									Арк.
									30
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата					

ЗВ-21мп.02.000ПЗ

2. Можливість легування поверхні оброблюваного ивердого матеріалу плазмоутворюючою речовиною.

Взаємодія поверхневих шарів металів та сплавів із високоенергетичними потоками плазми характеризується швидкими процесами нагріву та охолодження, що призводять до змін у структурно-фазовій будові оброблених шарів. Вплив висококонцентрованих потоків плазми на поверхні матеріалів також проявляється у формуванні ділянок, що включають хімічні елементи як плазмового потоку, так і елементи мішені, характеристики яких відрізняються від характеристик плазмового потоку. Також до особливостей варто віднести можливість впровадження іонів плазмового середовища в оброблюваний матеріал, що в деяких випадках збільшує корозійну стійкість матеріалу та його мікротвердість [13].

В роботі [15] було проведено дослідження, в якому на сталь наносили покриття цирконію товщиною 2...3 мкм. Обробляли зразки газорозрядним МПП компактної геометрії в режимі „залишкового газу”, при якому попередньо вакуумовану робочу камеру заповнювали реакційним газом – азотом до тиску 400 Па, та обробляли потоками плазми зі щільністю енергії 40 Дж/см², кількість імпульсів варіювали від 1 до 5. Встановлено, що товщина розплавленого та перемішаного шару металу більша за 10 мкм. Поступове збільшення кількості послідовних імпульсів призводило до зростання товщини модифікованого шару, а обробка стисненими потоками плазми виявилася ефективним методом, який дозволив контрольоване легування матеріалів шляхом перемішування хімічних елементів. Аналіз результатів досліджень свідчить, що елементний та фазовий склад поверхневого шару можна змінювати в широкому діапазоні шляхом варіювання параметрів режимів обробки і товщини попередньо нанесеного покриття необхідного легуючого елемента.

На основі проведеного літературного огляду нижче сформульовані мета та завдання досліджень.

					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						31
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Мета роботи: Встановлення закономірностей формування структури та властивостей жароміцних дисперсійнотвердіючих сплавів на основі нікелю при модифікуванні поверхонь з'єднання високоенергетичними потоками плазми та при отриманні зварних з'єднань за технологією дифузійного зварювання.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

1. Дослідити вплив умов та режимів модифікування високоенергетичними потоками плазми на формування структури та властивості поверхневого шару заготовок зі сплаву ЧС88У.

2. Визначити вплив модифікованих поверхонь на формування та структуру дифузійнозварних з'єднань.

3. Розробити технологічні рекомендації щодо отримання дифузійнозварних з'єднань з модифікованими високоенергетичними потоками плазми поверхнями.

					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>	Арк.
						32
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ 1

1. На сьогоднішній день, завдяки значним досягненням у галузі обробки матеріалів високоенергетичними потоками плазми, з'явилась можливість їх промислового застосування з метою модифікування робочих поверхонь виробів та деталей.
2. Активація поверхонь при з'єднанні жароміцних дисперсійнотвердіючих сплавів на основі нікелю може бути забезпечена шляхом модифікації поверхні з використанням високоенергетичних потоків плазми, що має забезпечити інтенсифікацію процесів формування дифузійнозварних з'єднань не лише на стадіях формування фізичного контакту, а і матиме визначальний вплив на перебіг процесів об'ємної взаємодії при ДЗ та забезпечить покращення характеристик якості отриманих зварних виробів та деталей відповідального призначення.
3. Найбільш перспективним для генерування та обробки поверхонь заготовок ВПП є магнітноплазмовий прискорювач компактної геометрії (МПП КГ).

					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

2. МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Хімічний склад та властивості жароміцного сплаву ЧС88У

В наш час ливарні жароміцні сплави є об'єктом інтенсивних досліджень в усіх наукових центрах і закладах, оскільки дисперсійнотвердіючі жароміцні сплави характеризуються комплексом унікальних властивостей, зокрема високою міцністю та корозійною стійкістю за високих робочих температур, забезпечують необхідний ресурс та надійність роботи найбільш навантажених конструкційних елементів ГТД – робочих та спрямляючих лопаток гарячого тракту. Активний розвиток жароміцних сплавів на основі нікелю обумовлений можливістю досягнення значного зміцнюючого ефекту за рахунок наявності низки зміцнюючих фаз, зокрема і карбідів, причому структурна стабільність цих карбідів є дуже високою [16].

Сплави на основі нікелю використовуються в широкому діапазоні систем, які працюють в високотемпературних середовищах. Сучасні жароміцні нікелеві сплави поділяють на дві основні групи:

Сплави першої групи мають в своєму складі такі легуючі елементи як титан або алюміній, а також їх комбінації. Ці сплави застосовуються при робочих температурах, які не перевищують 1050 °С. З урахуванням великої схильності титану та алюмінію до окиснення та утворення оксидних плівок, їх виготовляють в умовах вакууму або в атмосфері інертного газу.

Сплави другої групи, які не містять алюмінію та титану, в меншій мірі схильні до окислення. Такі сплави використовуються головним чином при температурах до 900° С [16].

Навіть при невеликій кількості, вуглець чинить значний вплив на структурну будову і властивості жароміцних сплавів. Виділення карбідів у таких сплавах необхідно суворо контролювати. Надмірно велике виділення карбідів має значний негативний вплив на характеристики пластичності металу, а недостатнє виділення карбідів на межах зерен призводить до зменшення довговічності сплавів.

									Арк.
									34
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата					

ЗВ-21мп.02.000ПЗ

У жароміцних сплавах межі зерен є найбільш вразливими ділянками і їх поведінка, особливо в умовах тривалої дії високих температур, в значній мірі визначають рівень міцності деталей та виробів.

Неперевершеними властивостями жароміцних сплавів на нікелевій основі є:

- Супротив розвитку процесів повзучості за високих температур експлуатації;
- Тривала міцність (або може розглядатися як втомна міцність).

Забезпечення таких високих характеристик сплавів досягається не лише за рахунок термічної обробки, але й завдяки складному багатоконпонентному легуванню. Загальна кількість хімічних елементів, які підлягають контролю, в сучасних жароміцних сплавах перевищує 30. Жароміцні сплави на основі нікелю використовуються при робочих температурах понад 650 °С.

Жароміцні сплави на основі нікелю відносяться до сплавів аустенітного класу. Зазвичай вони мають високий вміст хрому та невелику кількість інших легуючих елементів, таких як алюміній, титан, вольфрам, молібден, ванадій, тантал, реній, ніобій та інші.

Сплави на основі нікелю поділяються на гомогенні (так звані ніхроми та інконелі) та старіючі (так звані німоніки).

Ніхроми - це сплави нікелю і хрому або нікелю, хрому і заліза з мінімальним вмістом вуглецю та інших елементів, які можуть утворювати інші фази. Структура цих сплавів представляє собою твердий розчин цих елементів у нікелі (гранецентрована кубічна кристалічна ґратка).

Гомогенний твердий розчин не володіє високою міцністю і жаростійкістю. Такі сплави, як правило, не використовуються для навантажених деталей, тобто не застосовуються як жароміцний матеріал. Ніхром знаходить застосування як матеріал електричних нагрівальних елементів опору.

					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

Німоніки піддаються термічній обробці та використовуються після аустенізації та відпуску. Зміцнення цієї групи сплавів забезпечується за рахунок виділення карбонітридних, карбідних та інтерметалідних фаз. Здатність до старіння обумовлена наявністю хімічних елементів (окрім хрому і нікелю) у кількостях, що перевищують їх межу розчинності.

Німонік основного «класичного» складу є сплавом Ni - Cr - Ti - Al (приблизно 20 % Cr, 1 % Al і 2 % Ti, залишок - нікель). Усі сучасні жароміцні сплави відносяться до німоніків - сплавів, що зміцнюються термічною обробкою, при якій відбувається дисперсійне тверднення сплавів.

Основні структурні складові нікелевих сплавів

Матриця металу (γ -фаза) - це цільна матриця, яка являє собою аустенітну фазу на нікелевій основі з гранецентрованою кубічною кристалічною (г.ц.к.) граткою, зазвичай з підвищеним вмістом елементів, що утворюють тверді розчини: хрому, кобальту, вольфраму і молібдену.

Зміцнююча фаза (γ' -фаза). Алюміній і титан введені в сплав у кількостях та взаємних пропорціях, що забезпечують виділення великих об'ємних кількостей γ' -фази в об'ємі основної матриці утвореної γ -фазою. γ' -фаза має г.ц.к. гратку і виділяється когерентно з аустенітом, вона більше збагачена алюмінієм і титаном, ніж γ -фаза. γ' -фаза являє собою сполуку типу A_3B , де А - нікель чи кобальт, В - алюміній чи титан (можлива заміна іншими хімічними елементами, зокрема цирконієм, гафнієм та ін.). Такі сполуки частіше за все утворюються у матрицях, в яких наявний високий вміст нікелю.

Форма γ' -фази пов'язана з величиною невідповідності параметрів ґраток γ - і γ' -фаз. Частинки γ' -фази мають сферичну форму при невідповідності кристалічних ґраток 0,0- 0,2 %, кубічну - при невідповідності кристалічних ґраток 0,5-1,0 % та пластинчасту при невідповідності більше за 1,25 %.

Основними (базовими) принципами легування нікелевих суперсплавів є:

					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

1. Багатокомпонентне легування, спрямоване на вдосконалення гетерофазної будови та підвищення термостабілізації сплаву.
2. Прицезійне легування локальних обсягів (мікролегування), які є найбільш слабкими ланками в структурі сплавів.
3. Легування з метою зниження інтенсивності дифузійних процесів в обсязі сплаву, а також за межами зерен та фаз.

Принципи, що забезпечують підвищення ефекту зміцнення γ -твердого розчину та дисперсійного зміцнення γ' -фазою:

1. Максимальне зміцнення твердого розчину.
2. Наявність високодисперсних, термічно стабільних зміцнюючих фаз, когерентно пов'язаних з матрицею.
3. Збільшення об'ємного вмісту γ' -фази.
4. Збільшення енергії дефектів пакування γ -фази.
5. Зведення до мінімуму різниці параметрів решіток γ - та γ' -фаз.
6. Зменшення швидкості укрупнення виділень γ' -фази при робочих температурах.
7. Запобігання появі зон вільних від виділень зміцнювальних фаз.
8. Відсутність схильності до формування крихких щільноупакованих фаз (фази Лавеса).

Принципи, що забезпечують ефективність карбідного зміцнення:

1. Удосконалення морфології карбідних виділень.
2. Суворе регулювання процесів карбідоутворення з урахуванням можливості появи складних карбідів небажаних форм.

					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

ЧС88У- корозійностійкий, жароміцний десперсійнозміцнювальний сплав, який використовується для співвісного лиття робочих та соплових лопаток газотурбінних двигунів морських суден та енергетичних газотурбінних установок [17]. Сплав має підвищену жароміцність і корозійну стійкість. Сплав має високу концентрацію хрому, а також легований такими елементами, як С, В, Zr, Y, Hf.

Особливістю його хімічного складу є висока концентрація бору - 0.08%, коли в подібних системах зазвичай його вміст не перевищує 0.005 %.

Сплав ЧС88У виплавляється вакуумно-індукційним методом. Хімічний склад сплаву наведений в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сплаву ЧС88У [17].

C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Al	Nb	Mo	Co	B	Fe	W
0.06%	≤0.5%	≤0.5%	15.9	57.0	4.6	3.05	0.2	1.9	11.0	0.08	0.5	5.3

Стандартною термічною обробкою для сплаву ЧС88У є гомогенізуючий відпал при 1170°C з охолодженням зі швидкістю 30-60 °C /хвилину [18]. Також використовують високотемпературне та низькотемпературне старіння.

В структурі сплаву ЧС88У карбіди переважно розташовані в міжзернових областях та біля меж зерен. У сплаві у твердому стані карбіди мають морфологію "китайського шрифту", що свідчить про їх евтектичну кристалізацію (рисунок 2.1).

A
б
в

Рисунок 2.1. – Мікроструктура сплаву ЧС88У: *a* – дендритна структура; *б* – міждендритна ділянка; *в* – карбіди і бориди [18]

					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						38
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ док.м.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Сплав ЧС88У має високу жароміцність завдяки виділенню високодисперсної γ' -фази в процесі його дисперсійного твердіння і зміцнення границь зерен карбідами та боридами.

Фізико-механічні властивості сплаву в аустенізованому стані наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Фізико-механічні властивості сплаву ЧС88У в аустенізованому стані [17].

Ступінь залегованості γ' -фази,	Густина кг/м ³	Тривала міцність при 850 °С, МПа	Тривала міцність при 900 °С, МПа
1.129	8150	735	525

Межа міцності та плинності сплаву ЧС88У після повної стандартної термічної обробки відповідно до [17] 480-530 МПа про 950°С, 650-700 МПа при 900°С, 900-950 МПа при 800°С та 950-1020 МПа при 20°С.

У сучасних галузях промисловості, таких як авіабудування, суднобудування, газотурбобудування, енергетика широко використовують жароміцні дисперсійнотвердіючі сплави на основі нікелю. Такі матеріали характеризуються обмеженою технологічною можливістю зварювання плавленням, тому для їх з'єднання широко використовують технології з'єднання у твердій фазі, наприклад, дифузійне зварювання в вакуумі.

2.2 Обладнання для проведення експериментальних досліджень

На установках УДСВ-ДТ та ВВУ-КПІ проводили дифузійне зварювання з тиском дисперсійнотвердіючого жароміцного сплаву на основі нікелю ЧС88У. До складу установки УДСВ-ДТ були додані автоматичні системи підтримки температури, високоточні датчики переміщень та навантаження типу ЛІР-14.00ПС11 та RTN С3/1t відповідно, з записом даних на персональний комп'ютер. Точність вимірювання переміщень становила $1\pm 0,2$

									Арк.
									39
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата	ЗВ-21мп.02.000ПЗ				

мкм, навантажень 0,1 Н. Установа УДСВ-ДТ має декілька механізмів навантаження, важливий для забезпечення постійного навантаження та гідравлічний.

Установку ВВУ-КПШ використовували для отримання ДЗ з'єднань заготовок діаметром до 30 мм. В робочій камері установки наявна система нагрівання стінок під час охолодження та дегазації під час виконання процесу ДЗ або іонно-плазмового напилення.

Застосовується нагрів струмами високої частоти з потужністю джерела нагріву 60 кВт.

Установа УДСВ-ДТ має робочий вакуум 10^{-2} Па. Зовнішній вигляд установки УДСВ-ДТ після модернізації показаний на рис. 2.2.

Рисунок 2.2 – Робоча камера установки УДСВ-ДТ після модернізації.

					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

2.3 Методика проведення експериментальних досліджень щодо визначення структури та властивостей модифікованих шарів заготовок та їх зварних з'єднань.

В роботі використовували оптичну просвічуючу мікроскопію, металографію, рентгеноструктурний фазовий аналіз. Хімічний склад досліджено методом рентгеноспектрального мікроаналізу.

Установку ДРОН-УМ1 використовували для рентгеноструктурного фазового аналізу. Дослідження фазового складу та вимірювання параметрів кристалічної решітки проводили при монохроматичному $\text{CuK}\alpha$ -випромінюванні.

Мікроструктуру металу досліджували після іонного, хімічного або електролітичного травлення. Структуру жароміцних сплавів виявляли шляхом хімічного травлення в розчині Васильєва або електролітичного травлення в розчині хромового ангідриду у воді або ортофосфорній кислоті.

Аналіз мікроструктури проводили на оптичних мікроскопах Neophot 21 та Versamet 2 при збільшеннях $\times 100 \dots 500$, а також на растровому електронному мікроскопі РЕММА-102-02 при збільшеннях до $\times 15\ 000$. Дослідження тонкої структури металу проводили методами мікродифракційної електронної мікроскопії на установці JEM-200 CX (фірма JEOL, Японія) при напрузі 160, 200 kV.

Об'єкти для дослідження тонкої структури готували в наступній послідовності:

- різання металу (з відповідних зон) до товщини 0,4 мм в установці для електроерозійного різання;
- механічне тонке шліфування вирізаних пластин до товщини 0,08...0,1 мм (80...100 мкм) з метою очищення та зняття поверхневих шарів, що змінилися в ході електроерозійного різання.

Для збереження структури самої поверхні, обумовленої зовнішньою обробкою (шліфуванням та оплавленням) поверхню препарували заздалегідь перед наступними операціями (шліфуванням, різанням, електролітичним та

									Арк.
									41
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата	ЗВ-21мп.02.000ПЗ				

остаточним іонним утоненням) та захищали спеціальним захисним лаком (розчином полістиролу в толуолі).

Вирізку шайб діаметром 3 мм та товщиною від 80 до 100 мкм проводили спеціальними пуансонами методом електроерозійного різання. Наступні операції з підготовки шайб для отримання тонкої фольги для досліджень на просвічування виконували в наступній послідовності: електролітичне полірування в оцитовохромовому реактиві до появи отвору в шайбах і подальше багаторазове утонення іонізованими пучками аргону в спеціальній установці іонного утонення до отримання «прозорих» полів для досліджень в електронному мікроскопі, що просвічує. Мікротвердість Н_μ (МПа) металу визначали на мікротвердомірах фірми «Леко» при навантаженні 10...50 г та на ПМТ-3.

					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>	Арк.
						42
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МОДИФІКУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ ВИСОКОЕНЕРГЕТИЧНИМИ ПОТОКАМИ ПЛАЗМИ НА ФОРМУВАННЯ З'ЄДНАНЬ ПРИ ДИФУЗІЙНОМУ ЗВАРЮВАННІ

3.1 Дослідження впливу параметрів та умов обробки високоенергетичними потоками плазми на формування структури та властивості модифікованого шару.

Як було вказано вище, для створення плазмових потоків у роботі використовувався магнітоплазмовий прискорювач компактної геометрії (МПП КГ), особливості якого були описані у розділі 1.6. Застосовувалися середні режими високоенергетичних потоків плазми (ВПП). Діапазон щільності енергії за один імпульс регулювався зміною відстані між електродом і заготовкою, а також енергією ємнісного накопичувача (батареї конденсаторів).

Режими напруги були обрані в діапазоні $U =$ від 3,0 до 4,5 кВ. Відстань між зразком та деталлю змінювали в межах від 80 до 140 мм. Величину тиску газового середовища в робочій камері підтримували на рівні $3 \cdot 10^2$ Па, в якості робочого газу використовували водень. Дані режими модифікування забезпечували максимальну щільність енергії $E = 27$ Дж/см² в одному імпульсі. Також в експериментах були імпульси з щільністю енергії 21 та 12 Дж/см².

Для модифікування жароміцних сплавів спочатку в камері створювали вакуум 10^{-2} Па, після чого камера заповнювалася воднем при тиску $3 \cdot 10^2$ Па. Для модифікування використовували 3 імпульси і в усіх випадках тривалість імпульсу була рівна 100 мкс, а інтервал часу між імпульсами був 20 с.

3.1.1. Визначення впливу вихідного стану сплаву та умов ВПП на формування текстури поверхневих шарів.

При модифікуванні поверхневого шару ЧС88У застосовували зразки циліндричної форми в стані загартування в воді від температури аустенізації

									Арк.
									43
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата	ЗВ-21мп.02.000ПЗ				

1180 °С. Через високий вміст алімінію і титану в нікелі відбуваються структурні перетворення та формується γ' - фаза при охолодженні.

Ступінь виділення γ' -фази залежить від швидкості охолодження.

Після повної стандартної термічної обробки, що полягає в аустенізації при температурі 1180 °С за витримки 1 година та наступного старіння при температурах 1050 °С та 950 °С загальною тривалістю 16 годин, для виділення зміцнюючих фаз, вміст γ' -фази більше за 50 %.

При модифікуванні сплаву ЧС88У на поверхні формувалась певна хвилястість (рис.3.1). Хвилястість виникала через утворення динамічного тиску плазмового потоку, величина якого може сягати від 10 до 30 атм. Варто зазначити, що при модифікуванні сплаву ЧС88У на потужних режимах виникають тріщини, що є особливістю даного сплаву (рисунок 3.2).

Рисунок 3.1 – Зовнішній вид модифікованих торцевих поверхонь зразків сплаву ЧС88У в стані загартування (а) та при повній термічній обробці (б)

Модифікування зразків А1,А2,С1,С2 виконували при щільності енергії 21 Дж/см²; А3,С3,С4 при 12 Дж/см²; А4,А5,С5 при 27 Дж/см².

					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

При щільності енергії 27 Дж/см² тріщини наявні на всій модифікованій поверхні. При зменшенні щільності енергії до 21 Дж/см² тріщини так само залишаються, але частина тріщин на периферії модифікованої поверхні відсутня. Цей сплав, що має близько 60 % γ' -фази, відноситься до тих, що погано зварюються. Одним із заходів запобігання гарячим тріщинам при зварюванні є зменшення погонної енергії. При модифікуванні поверхонь, ймовірно, потрібно йти шляхом зменшення щільності енергії в пучку та збільшення кількості імпульсів, роль яких може бути пов'язана також із високотемпературним підігрівом. Рекомендується зменшити щільність пучка нижче за 20 Дж/см² для зменшення ймовірності утворення тріщин.

Рисунок 3.2 – Тріщини в модифікованому шарі сплаву ЧС88У при щільності енергії плазмових потоків 27 Дж/см² при відстані 80 мм між катодом та зразком А5

3.1.2. Вплив параметрів ВПП на формування структури та властивості оброблених поверхонь.

Дослідження хімічного складу зразків сплаву ЧС88У на РЕММА-102-02 після загартування та повної термічної обробки показали, що він відповідає технічним умовам (рис 3.3 та табл. 3.1 і 3.2).

Але склад модифікованого шару дещо відрізняється від складу основного металу незалежно від стану сплаву до модифікування, так як після

					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

модифікування в поверхневому шарі зростає концентрація алюмінію, титану, гафнію, молібдену та найбільше вольфраму.

Дещо знижується концентрація хрому, заліза та нікелю. Середня концентрація алюмінію збільшилася приблизно на 20 %.

Рисунок 3.3 – Мікроструктура сплаву ЧС88У після термічної обробки

Таблиця 3.1 – Хімічний склад сплаву ЧС88У у вихідному стані залежно від термічної обробки

Стан сплаву	Al	Ti	Cr	Fe	Co	Ni	Cu	Zr	Nb	Mo	Hf	W
Аустенітний	2.95	4.44	16.14	0.43	10.89	57.66	0.02	0.04	0.12	1.82	0.25	5.13
Зістарений	3.08	4.63	15.94	0.46	10.80	57.20	0.05	0.05	0.20	1.97	0.30	5.33

Таблиця 3.2 – Хімічний склад сплаву ЧС88У після модифікації залежно від термічної обробки

Стан сплаву	Al	Ti	Cr	Fe	Co	Ni	Cu	Zr	Nb	Mo	Hf	W
Аустенітний	3,45- 3,76	5,29- 5,61	15,29- 15,37	0,25- 0,35	10,15- 10,42	55,43- 56,10	0,04- 0,05	0,05- 0,07	0,14- 0,19	2,39- 2,69	0,08- 0,11	6,20- 6,30
Зістарений	3.38- 3,81	5.66- 5,84	14.70- 15,22	0.19- 0,33	9.65- 10,79	55.55- 58,81	0.03	0.04	0.15- 0.17	2.16- 2.19	0.03- 0.04	5.57- 6,10

З досліджень було виявлено, що вплив кількості імпульсів на появу тріщини пов'язаний з підігрівом металу, так як кристалізація металу модифікованого шару при одному імпульсі проходить при більш жорстких

					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>							Арк.
												46
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата								

умовах, а зі збільшенням кількості імпульсів основний метал підігрівався значно більше і темп наростання напружень розтягу при кристалізації розплавленого металу зменшується.

Варто також зазначити, що мікротвердість модифікованого сплаву також знижується до межі в 2700 МПа через те, що зміцнювальна γ' -фаза розчиняється при розплавленні, але не виділяється при наступному загартуванні.

Будова модифікованого шару при використанні ЗПС відрізнялася істотно від будови основного металу. Насамперед необхідно відзначити підвищення щільності дислокацій від 10^9 до 10^{11} см⁻² для сплаву ЧС88У, що призвело до підвищення напружень в приповерхневому шарі зразків сплаву. У модифікованому шарі формується субмікрокристалічна структура, яка на окремих ділянках близька до наноструктури. Відповідно в поверхневому шарі суттєво збільшувався рівень накопиченої міжзеренної енергії. Всі ці фактори мають позитивно впливати на формування з'єднань при дифузійному зварюванні у вакуумі.

3.2 Дослідження дифузійнозварних з'єднань сплаву ЧС88У з модифікованими ВПП поверхнями заготовок

3.2.1 Дифузійне зварювання сплаву ЧС88У та схеми дослідження отриманих з'єднань.

З метою проведення оцінки ефективності модифікування поверхні порівнювали два комплекти зразків. Один із комплектів зразків був оброблений тонким шліфуванням, інший комплект оброблювали за допомогою ВПП. В літературі [19] проводилося дослідження аналогічних зразків після обробки потужним електронним пучком. Дослідження проводилися на циліндричних зразках діаметром 12.5 мм при однакових режимах дифузійного зварювання при температурі 1160 °С, яка була постійною. Після зварювання зразки розрізали вздовж осі і досліджували

									Арк.
									47
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата					

ЗВ-21мп.02.000ПЗ

структуру металу в зоні стику на різних ділянках, поблизу бічної поверхні (Б), на середині радіуса (Р) і в центрі зразка (Ц), як на показано рисунку 3.4

Рисунок 3.4 – Зони дослідження структури з'єднання після розрізання по осі циліндричного зразка зі сплаву ЧС88У отриманого ДЗ

При проведенні аналізу мікроструктури було визначено величину зерна ($h \times l$, мкм), частку загальних зерен ($V_{\text{коал}}$, %) та розмір зерна в зоні рекристалізації, а також розподіл мікротвердості в кожній зоні по лінії, яка йшла перпендикулярно стику. Більш детально мікроструктуру зварного з'єднання сплаву ЧС88У с обробкою шліфуванням обох зварюваних поверхонь показано на рисунку 3.5.

					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

В

Рисунок 3.5 – Мікроструктура з'єднань сплаву ЧС88У в зонах «Ц» (а), «Р»
(б) та «Б» (в) при обробках зварюваних поверхонь шліфуванням
(без модифікування)

В зоні «Ц» (рис 3.5, а) величина зерна у лінії з'єднання становить
40×50....60×120....70×170 мкм з одного боку та 30×40....40×100....60×190

					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>	Арк.
						49
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

мкм з іншого боку. Вздовж поверхні розподілу спостерігається формування рекристалізованих зерен та загальні зерна сформовані в наслідок процесів коалесценції, об'ємна частка яких у цій зоні становить 2,4 %. Мікротвердість зварного з'єднання (при навантаженні 100 г) у зоні «Ц» у лінії стику становить від 5180 до 5250 МПа з одного боку та від 4680 до 4750 МПа з іншого боку, з поступовим зменшенням мікротвердості з обох боків до 4250 МПа, що відповідає значенням твердості основного металу. Біля лінії стику з обох сторін спостерігаються виділення з підвищеним вмістом Ti 45,6...55,6 %, W 34,85...36,14 %, Nb 4,9...9,8 %.

В зоні «Р» (рис 3.5, б) величина зерна біля межі розділу становить $30 \times 60 \dots 50 \times 120 \dots 70 \times 200$ мкм з одного боку та $40 \times 70 \dots 50 \times 120 \dots 60 \times 220$ мкм з іншого боку. Так-само були наявні рекристалізовані зерна розміром 5×10 мкм... 10×20 мкм з обох боків та загальні зерна утворені в процесі коалесценції, об'ємна частка яких в сплаві становить 7.12 %. Мікротвердість зварного з'єднання (при навантаженні 100 г) у зоні «Р», біля лінії стику становить від 5180 до 5250 МПа з одного боку. При віддаленні від лінії сплавлення у бік основного металу мікротвердість знижується до 4250 МПа і залишається на цьому рівні аж до шару основного металу. З іншого боку, мікротвердість у лінії стику становить 4750 МПа, при віддаленні від межі розділу значення мікротвердості знижується до 4250 МПа. По обидва боки від лінії стику спостерігаються виділення з підвищеним вмістом Ti від 46,8 до 54,8 %, W 26,6 до 34,0 %, Nb 4,85 до 7,15 %.

В зоні «Б» (рис 3.5, в) величина зерна біля лінії стику становить $30 \times 60 \dots 60 \times 100 \dots 120 \times 220$ мкм з одного і $30 \times 50 \dots 70 \times 110 \dots 90 \times 250$ мкм з іншого боку від межі розділу. В з'єднанні так само були наявні рекристалізовані зерна розміром $5 \times 10 \dots 10 \times 20$ мкм з одного боку та $10 \times 15 \dots 20 \times 30$ мкм з іншого боку. Об'ємна частка загальних зерен коалесценції становить 10,3 %. Мікротвердість зварного з'єднання (при навантаженні 100 г) у лінії стику становить 4750 МПа з одного боку, зниження відбувається протягом 400 мкм до 4250 МПа і залишається на цьому рівні до основного

					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						50
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

металу. З іншого боку, мікротвердість у лінії стику становить 4500 МПа, спостерігається поступове її зниження до 4250 МПа (на глибині до 300 мкм) та вона знаходиться на рівні, який характерний для основного металу. У лінії стику спостерігаються виділення з підвищеним вмістом Ti від 54,6 до 59,2 %, W 22,7 до 43,3 %.

В основному металі мікротвердість становить від 4290 до 4520 МПа. Евтектичні виділення мають мікротвердість від 5150 до 6130 МПа. Також виявлені фазові виділення із мікротвердістю від 7390 до 7420 МПа.

Якщо розглянути результати дослідів дифузійного зварювання для обох шліфованих поверхонь більш детально, то можна побачити, що величина зерна в зоні «Р» збільшується в середньому на 15 %, якщо порівнювати з зоною «Ц», а в зоні «Б» розмір цього зерна збільшується на 23 %. Розмір рекристалізованих зерен є практично однаковим для усіх зон і дорівнює $5 \times 10 \dots 10 \times 30$ мкм. Об'ємна частка загальних зерен сформованих за рахунок коалесценції збільшується від 2.4 % до 7.12 % від зони «Ц» до зони «Р» відповідно і від 7.12 до 10.3 від зони «Р» до зони «Б», а загальна частка зерен коалесценції дорівнює 19.8 %. Вздовж поверхні розділу спостерігаються виділення з підвищеним вмістом Ti 45,6...59,2%, W 22,7...43,3%, Nb 3,9...7,15% з обох сторін від границі розподілу та у всіх досліджених зонах.

Проаналізувавши зміну характеру структур, можна прийти до висновку, що в дифузійнозварному з'єднанні величина пластичних деформацій збільшуються від зони «Ц» до «Р» та до «Б» відповідно. Розподіл мікротвердості впоперек стику наведений на рисунок. 3.6.

					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

Рисунок 3.6 – Розподіл мікротвердості перпендикулярно стику в різних зонах при дифузійному зварюванні сплаву ЧС88У з обробленими поверхнями тонким шліфуванням (без модифікування)

3.2.2. Аналіз структурної будови, складу та властивостей дифузійнозварних з'єднань сплаву ЧС88У з модифікованими поверхнями.

Мікроструктури зварного з'єднання з модифікованими поверхнями шляхом їх обробки високоенергетичними потоками пазми показані на рисунок 3.7.

					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>	Арк.
						52
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Рисунок 3.7 – Мікроструктура з'єднання сплаву ЧС88У в зонах «Ц» (а), «Р» (б) та «Б» (в) при обробці поверхонь високоенергетичними потоками плазми

У зоні „Ц” (рис. 3.7, а) величина зерна біля лінії з'єднання становить $10 \times 15 \dots 35 \times 50 \dots 60 \times 140$ мкм з обох сторін. Вздовж поверхні розділу спостерігається формування рекристалізованих зерен з розміром від 5×10 до 5×20 мкм з одного боку від лінії стику і 5×15 до 10×25 мкм з іншого боку.

					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						53
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Мікротвердість зварного з'єднання (при навантаженні 100 г) у зоні «Ц» у лінії зварювання становить від 4680 до 4750 МПа з обох боків. При віддаленні від лінії сплавлення на глибину до 100...200 мкм спостерігається збільшення значення мікротвердості від 4780 до 4810 МПа (з одного боку) і до 5000 МПа (з іншого боку) і твердість залишається на цьому рівні аж до основного металу. З обох сторін спостерігаються виділення з підвищеним вмістом Ті від 28,0 до 54,0%, W 13,5 до 29,1%, Nb 3,8 до 5,9 % порівняно з матрицею де вміст Ті в середньому складає 3,5 %, W 2,65 %, Nb 0,57 %.

У зоні «Р» величина зерна біля лінії з'єднання становить 15×20....50×90....100×120 мкм з одного боку та 25×30....35×65....50×100 мкм з іншого боку. Рекристалізація зерен проходить вздовж поверхні розділу з розміром новоутворених зерен в середньому 5×20 мкм з обох боків. Мікротвердість зварного з'єднання в зоні "Р" біля лінії стику становить від 4570 до 4670 МПа з двох сторін. При віддаленні від стику на глибину до 50...100 мкм спостерігається збільшення значення мікротвердості від 4950 до 5000 МПа з одного та з іншого боків і це значення мікротвердості залишається на вказаному рівні аж до глибини до 1,5 мм, а потім спостерігається невелике її зниження до 4670 МПа. З обох сторін формуються виділення з підвищеним вмістом Ті від 52,5 до 57,9 %, W 24,0 до 31,6 %, Nb 3,4 до 4,7 %. В матриці основного металу вміст Ті в середньому складає 3,3...6,0 %, W 1,5...2,4 %, Nb 0,14...1,6 %.

У зоні «Б» розмір зерна становить 25×40...35×80 мкм. Розмір рекристалізованих зерен приблизно 5×10...5×30 мкм. Мікротвердість зварного з'єднання біля лінії стику 5250 МПа з одного боку і на глибині 50...100 мкм знижується до від 4810 до 4960 МПа і залишається на рівні 4750 МПа. З іншого боку, мікротвердість у лінії стику становить 4750 МПа на глибині 100...200 мкм спостерігається падіння до 4290 МПа, а потім мікротвердість зростає до 4750 МПа і залишається на даному рівні. Також біля лінії стику виявлені виділення з підвищеним вмістом Ті від 48,1 до 52,9 %, W близько 30 %, Nb від 4,8 до 5,17 %.

											Арк.
											54
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата	ЗВ-21мп.02.000ПЗ						

В основному металі мікротвердість становить від 4510 до 4670 МПа. В основному металі є евтектики з мікротвердістю від 5610 до 5960 МПа. Розподіл мікротвердості металу в різних зонах з'єднання отриманого ДЗ показаний на рисунок 3.8.

Рисунок 3.8 – Розподіл мікротвердості в різних зонах при дифузійному зварюванні сплаву ЧС88У з модифікованими поверхнями ВПП

З аналізу отриманих результатів досліджень можна зробити висновки, що в сплаві спостерігається незначне збільшення мікротвердості до 9 % при переході від зони «Ц» до «Р» та до «Б», також дослідження вказують на велике зменшення величини зерна в зоні «Р» на 20 % та в зоні «Б» на 40 % відносно зони «Ц». В основному металі визначена наявність виділень евтектики з мікротвердістю від 4670 до 5610 МПа, а також інших виділень з підвищеним вмістом Ti (28,0 ... 57,9 %), W (13,5 ... 32,9 %) та Nb (3, 5... 5,9 %).

Порівнюючи результати досліджень зразків ДЗ з'єднань з просто шліфованими поверхнями, та модифікованими ВПП поверхнями можна

					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>	Арк.
						55
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

зробити висновки, що варіант з модифікуванням поверхонь високоенергетичними потоками плазми є більш доцільним, оскільки з'єднання з модифікованими поверхнями характеризуються меншим розміром зерна та розмір зерен сформованих за рахунок розвитку процесів рекристалізації вздовж лінії стику також менший, ніж при обробці механічним тонким шліфуванням. Також, за рахунок активації поверхневого шару зразків підвищується мікротвердість зварного з'єднання отриманого ДЗ з модифікованими поверхнями заготовок, яка є більшою, ніж при обробці шліфуванням. Це дозволяє стверджувати, що модифікування поверхні за допомогою ВПП є ефективним способом підвищення енергетичного рівня поверхневого шару, що є необхідною умовою при підготовці зразків до ДЗ та забезпечує активізацію процесів об'ємної взаємодії при ДЗ. Однак модифікований ВПП шар відрізняється від основного металу за структурною будовою та за хімічним складом.

					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						56
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ 3

1. Застосування модифікування високоенергетичними потоками плазми за енергії імпульсу 27 Дж/см^2 призводить до утворення тріщин в поверхневих шарах жароміцного дисперсійнотвердіючого сплаву на основі нікелю ЧС88У. Для зменшення ймовірності утворення тріщин рекомендується зменшити щільність енергії пучка нижче за 20 Дж/см^2 .

2. Вплив кількості імпульсів на появу тріщин пов'язаний з підігрівом металу, оскільки кристалізація металу модифікованого шару при одному імпульсі проходить за більш жорстких умов, а збільшення кількості імпульсів призводить до попереднього підігріву основного металу зразка, що сприяє зменшенню швидкості охолодження та зменшує темп зростання залишкових напружень розтягу.

3. Мікротвердість модифікованого ВПП шару сплаву зменшується до рівня близько 2700 МПа в наслідок розчинення зміцнювальної γ' -фази, а щільність дислокацій для сплаву ЧС88У зростає від 10^9 до 10^{11} см^{-2} , у модифікованому шарі формується субмікроструктурна структура, яка на окремих ділянках близька до наноструктури, що призводить до суттєвого збільшення рівня накопиченої міжзеренної енергії і матиме позитивний вплив на формування з'єднань при ДЗ у вакуумі.

4. Аналіз мікроструктури дифузійнозварних з'єднань з обома шліфованими поверхнями свідчить про суттєве зростання величини рекристалізованих зерен від центральної зони до зони на середині радіусу та до зовнішньої поверхні з'єднання. Розмір зерен на цих ділянках збільшується в середньому на 15% та 23% відповідно. Для з'єднань з обома модифікованими ВПП поверхнями навпаки спостерігається зменшення розміру зерна на 20% та 40% відносно центральної зони шва відповідно. Також спостерігається незначне збільшення мікротвердості до 9% при переході від центральної зони до бокової поверхні зварного з'єднання.

					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

5. Порівнюючи результати досліджень зразків ДЗ з'єднань зі шліфованими та модифікованими ВПП поверхнями можна зробити висновки, що варіант з модифікуванням поверхонь є більш доцільним, оскільки отримані з'єднання характеризуються меншим розміром зерна, а розмір зерен сформованих за рахунок розвитку процесів рекристалізації вздовж лінії стику також менший, ніж при обробці тонким шліфуванням. Це дозволяє стверджувати, що модифікування поверхні за допомогою ВПП є ефективним способом активації поверхонь при ДЗ.

					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						58
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

4.ТЕХНОЛОГІЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ДИФУЗІЙНОМУ ЗВАРЮВАННЮ ЖАРОМІЦНИХ СПЛАВІВ З МОДИФІКОВАНИМИ ВПП ПОВЕРХНЯМИ ЗАГОТОВОК

За результатами наведених в попередньому розділі досліджень встановлено, що ДЗ заготовок з жароміцного сплаву на основі нікелю ЧС88У доцільно проводити із застосуванням попередньомодифікованих ВПП поверхнями з'єднань. Така обробка забезпечує ефективну активацію поверхонь при ДЗ, дозволяє підвищити ступінь фізичної та хімічної однорідності зєднань отриманих ДЗ в вакуумі.

Виходячи з вищенаведеного технологічний процес ДЗ з модифікуванням ВПП поверхонь необхідно виконувати в наступній послідовності:

1. Підготовка поверхонь заготовок тонким шліфуванням.
2. Очищення та знежирення всіх поверхонь заготовок.
3. Проведення модифікування шляхом обробки імпульсними ВПП на режимах зі щільністю енергії потоку плазми не більше за 20 Дж/см². Середовище азот з залишковим тиском близько 300 Па.
4. Кількість імпульсів обирається виходячи з аналізу стану модифікованої поверхні, геометричних характеристик її шорсткості та хвилястості. Виявлення тріщин проводиться візуально.
5. При виявленні тріщин, зразки можуть бути піддані повторній обробці на зменшених режимах та/або із застосуванням більшої кількості імпульсів.
6. Оскільки в процесі досліджень часові залежності витримки після модифікування зразків не визначені, а сплав характеризується високою корозійною стійкістю, то час зберігання зразків може складати до декількох тижнів за умови їх зберігання в герметичному контейнері при вологості повітря до 70 % за звичайних температур.
7. Перед ДЗ заготовки мають бути знежирені та встановлені в спеціальне пристосування для нагрівання до температури 700 - 750 °С в «розведеному

									Арк.
									59
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата					

ЗВ-21мп.02.000ПЗ

стані» з метою ефективного вакуумного видалення адсорбованої на поверхні вологи та забезпечення вакуумного очищення поверхонь з'єднання.

8. Зварювання має бути виконане за рекомендованими в розділі 3 режимами при глибині вакууму не менше за 10^{-2} Па.

9. В процесі ДЗ необхідно проводити контроль інтенсивності натікання повітря в вакуумну камеру, оскільки значне натікання, навіть за глибокого вакууму призводить до окиснення поверхонь заготовок на етапі нагріву під ДЗ.

10. ДЗ проводити з постійним контролем і в режимі автоматичного запису всіх параметрів процесу, зокрема і рівня переміщень (деформацій) на персональний компютер з метою створення карти технологічного процесу зварювання для кожної окремої деталі.

11. Після зварювання вивантаження зварених деталей дозволяється за їх температури не більше за 200 – 250 °С.

Подальший розвиток технологій ДЗ жароміцних сплавів може полягати в застосуванні для ДЗ заготовок, які перебувають у різних структурних станах. Такий підхід надасть найкращі результати завдяки ефективному розвитку деформаційної активації в наслідок формування в зоні стику локальних напружень зсуву. Цей ефект досягається в наслідок формування структурних напружень зсуву на границі з'єднання заготовок.

Для цього одна з деталей, що з'єднуються, має знаходитися в аустенізованому стані, інша - зістареному, проте вплив структурного стану заготовок з жароміцного сплаву ЧС88У на подальше формування з'єднань при ДЗ потребує додаткового вивчення.

Також можливе здійснення термоциклування (від 2 до 3 циклів) в інтервалі температур від 850 до 1180 °С.

При цьому свій внесок у формування напружено-деформованого стану вносять обидві з'єднувані деталі. Розчинення наявних зміцнюючих фаз у зістареному зразку розпочинається при температурі нагрівання 1050 °С і веде до збільшення об'єму сплаву. Виділення зміцнюючих фаз у загартованому сплаві включаючи модифікацію поверхні за допомогою імпульсних ВПП,

									Арк.
									60
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата	ЗВ-21мп.02.000ПЗ				

відбувається при охолодженні від 900 до 950 °С і супроводжується зменшенням об'єму сплаву. Такий підхід дозволяє інтенсифікувати розвиток деформацій зсуву на контактних поверхнях заготовок і дозволяє зменшити величину зусилля стиснення, що забезпечує зменшення рівня як локальних так і загальних деформацій отриманих за технологією ДЗ виробів.

					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		61

ВИСПОВКИ ПО РОЗДІЛУ 4

1. Запропоновані технологічні рекомендації по дифузійному зварюванню жароміцних сплавів з модифікованими ВПП поверхнями заготовок. При їх реалізації важливим фактором є обмеження натікання в вакуумну камеру зовнішнього повітря навіть за умови ведення процесу ДЗ у глибокому (більше за $10^{-2} - 10^{-3}$) Па.
2. Розвиток технології ДЗ жароміцних сплавів, зокрема сплаву ЧС88У, з модифікованими ВПП поверхнями заготовок може бути спрямований на інтенсифікацію процесів деформаційної активації зєднаних поверхонь шляхом застосування ДЗ заготовок, які перебувають у різних структурних станах або при застосуванні термоциклування (від 2 до 3 циклів) в інтервалі температур від 850 до 1180 °С.

					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

Після дослідження дифузійного зварювання сплаву ЧС88У та подальшого модифікування поверхні за допомогою високоенергетичних потоків плазми я прийшов до висновків, що дифузійне зварювання варто використовувати для сплаву ЧС88У, так-як нікелеві жароміцні сплави погано піддаються зварюванню плавленням, а дифузійне зварювання дозволяє отримати гарну якість зварного з'єднання для такого сплаву, а модифікування поверхонь за допомогою ВПП дозволяє як активізувати поверхню під зварювання, так і зміцнити сплав, що в подальшому призведе до довгішого використання деталей із цього сплаву, але при модифікуванні за допомогою ВПП можлива поява поверхневих тріщин, але тріщин всередині тріщини від модифікування не з'являються, для запобігання зовнішніх тріщин варто зменшувати режими зварювання, та щільність потоків.

При дослідженні виявилось, що модифікування поверхні за допомогою ВПП дозволяє отримати близький за хімічним складом шар до основного металу і серед інших типів модифікування – модифікування за допомогою ВПП дозволило активізувати поверхню під зварювання, але це не дозволяє не зачищати поверхню перед зварюванням та модифікуванням. Також треба пам'ятати про те, що необхідно ретельно очищувати робочій газ для отримання з'єднань з внутрішньокристалітними міжатомними зв'язками.

										Арк.
										63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>					

5. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЄКТУ

Стартап – це форма малого ризикового підприємства, що зросла в усьому світі за останнє десятиліття завдяки зменшенню бар'єрів для входу на ринок (знайти споживачів і продавати стало легше з появою Інтернету як інструменту комунікації та продажів), вважається одним із наріжних каменів інноваційної економіки, оскільки загальний обсяг інноваційних ідей постійно зростає завдяки мобільності, гнучкості та великій кількості підприємницьких проєктів. Однак створення та впровадження на ринок стартап-проєктів характеризується високим ступенем ризику, і лише невелика частка досягає комерційного успіху, процент успіху коливається від 10% до 20% за різними оцінками.

Розробка та виведення підприємницького проєкту на ринок передбачає реалізацію кількох етапів, які включають ринкові перспективи проєкту, терміни та принципи організації виробництва, фінансовий аналіз та аналіз ризиків, а також заходи щодо просування пропозиції для інвесторів.

Метою розділу є розвиток інноваційного мислення, підприємницького духу та здатності оцінювати ринкові перспективи та можливості комерціалізації для основних науково-технічних розробок, які були розроблені у попередній частині магістерської роботи у такій формі: У висококонкурентній сфері ринкова економіка у процесі глобалізації Розробити концепцію стартап-проєкту за умов.

Завдання розділу полягає у проведенні аналізу ринку, перспектив впровадження запропонованих науково-технічних рішень та рекомендацій, оцінка можливості їх ринкової реалізації [20].

					<i>ЗВ-21мп.02.00.000ПЗ</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Корсун Д.С.</i>			<i>Стартап-проєкт</i> <i>Дифузійне зварювання сплаву ЧС88У з поверхнями з'єднань, модифікованими висококонцентрованими потоками плазми</i>		
<i>Перевір.</i>		<i>Глуценко Я.І.</i>					
						1	17
<i>Н. Контр.</i>		<i>Лисак В.В.</i>			<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського</i> <i>НН ІМЗ. Е. О. Патона</i>		
<i>Затверд.</i>		<i>Квасницький В.В.</i>					

5.1. Опис ідеї проекту (товару, послуги, технології)

1.1 Для зварювання жароміцних сплавів на основі нікелю використовують дифузійне зварювання, так-як цей вид сплавів дуже часто використовується в автомобільній, аерокосмічній і атомній промисловості частіше за все деталі з таких сплавів мають складну конфігурацію, через що звичайним литтям отримання деталей стає дуже важким та дорогим.

Але, для якісного дифузійного зварювання важливим критерієм є ретельна обробка поверхонь, так-як без обробки дуже сильно погіршується якість зварювання. Існують різні варіанти обробки поверхні перед зварюванням, такі як : ручна механічна зачистка, очищення травленням і ще інші.

Але звичайного зачищення недостатньо для якісного зварювання, тому в роботі запропонований метод модифікації поверхні висококонцентрованими потоками плазми, що дозволяє активізувати та модифікувати поверхню металу для подальшого якісного зварювання, при цьому сам модифікований шар є близьким по хімічному складу до основного металу.

Таблиця 5.1 – Опис ідеї стартап-проекту[20].

Зміст ідеї	Напрямок застосування	Вигода для користувача
Використання модифікування поверхні нікелевого жароміцного сплаву ЧС88У шляхом обробки високоенергетичними потоками плазми	Використовується для виготовлення лопаток газотурбінних двигунів	При модифікуванні високоенергетичними потоками плазми, поверхня сплаву активується, що забезпечує підвищення механічних властивостей ДЗ з'єднань, їх характеристик якості та довговічної експлуатації готових виробів

Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата

ЗВ-21мп.02.000ПЗ

Арк.

65

Таблиця 5.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту [20].

№	Техніко-економічна характеристика ідеї	Товари/концепції конкурентів		Слабка сторона	Нейтральна сторона	Сильна сторона
		Мій проєкт	Конкурентні			
1	Модифікування поверхні для покращення умов зварювання та якості з'єднань	Модифікування високоенергетичними потоками плазми	Модифікування дією лазерного пучка, плазмового газового потоку	Поява тріщин на поверхні модифікованого шару	Зміна розміру зерна при модифікуванні	Можливість введення в плазмове середовище активних газів з HF і BF ₃

5.2. Технологічний аудит ідеї проекту

Модифікування поверхні жароміцного сплаву ЧС88У виконується за допомогою магнітноплазмового прискорювача компактної геометрії (МПП КГ), дані магнітоплазмові прискорювачі зараз знаходяться на третьому етапі розвитку та ще продовжують розвиватися.

Таблиця 5.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту модифікування поверхні сплаву ЧС88У за допомогою ВПП [20].

№	Ідея проекту	Технологія реалізації	Наявність технології	Доступність технології
1	Модифікування поверхні жароміцного сплаву ЧС88У за допомогою високоенергетичних потоків плазми	Магнітно плазмовий прискорювач компактної геометрії та локальної дії	Наявна	Умовно доступна

За таблицею технології реалізації ідеї проекту можна зробити висновок, що технологія модифікування поверхні жароміцного сплаву ЧС88У за допомогою висококонцентрованих потоків плазми можлива і здійснена.

					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>			Арк.
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата				66

5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використовувати під час реалізації проекту на ринку, та ринкові загрози, які можуть перешкоджати реалізації проекту, дозволяють спланувати напрямок розвитку проекту на основі умов та потреб ринкової середовища.

Рекомендації потенційним клієнтам та конкурентним проектам.

Спочатку треба зробити потенційну характеристику ринку, сплав ЧС88У використовується для виготовлення лопаток газотурбінних двигунів, тому буде аналізуватися ринок виготовлення газотурбінних лопаток, саме вони будуть модифікуватися за допомогою високоенергетичних потоків плазми.

Таблиця 5.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап проекту [20].

№	Показник стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	4
2	Загальний обсяг продажів, дол. США	15 мільярдів 44 мільйона
3	Динаміка ринку	Ринок суттєво зростає
4	Наявність обмежень для входу	Відсутні
5	Специфічні вимоги до стандартизації та специфікації	РД 34.02.303-91
6	Середня норма рентабельності галузі	30 %

Згідно таблиці 5.4 можна зробити висновки, що ринок газотурбінних лопаток привабливий для входу, а одже і для модифікування цих лопаток.

										Арк.
										67
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата						

ЗВ-21мп.02.000ПЗ

Таблиця 5.5 – Характеристика потенційних клієнтів [20].

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних клієнтів	Вимоги споживача до товару
1	Модифікування поверхні для покращення якості зварного з'єднання	Підприємства по виготовленню газотурбінних лопаток, газотурбінних двигунів та енергетичних газотурбінних установок	Стандарти, технічні регламенти, специфікації, технологічні інструкції	Покращення якості деталей, зменшення собівартості модифікації деталей

Як вказано в таблиці 5.5 потенційними клієнтами, яким необхідне модифікування поверхон є підприємства, які виготовляють газотурбінні лопатки, газотурбінні двигуни морських суден та енергетичні газотурбінні установки.

Після визначення потенційних клієнтів був проведений аналіз ринкового середовища, а саме вказані фактори, що сприяють та перешкоджають ринковому впровадженню проекту:

Таблиця 5.6 – Фактори загроз стартап проекту модифікування поверхні сплаву ЧС88У за допомогою ВПП [20].

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Технічні труднощі:	Невдачі у розробці та вдосконаленні технології модифікування поверхні за допомогою ВПП	Налагодження інноваційного процесу, привласнення досвіду від інших компаній, залучення досвідчених фахівців
2	Конкуренція на ринку	Змагання з іншими компаніями, що розвивають аналогічні технології	Розробка унікальних функціональних можливостей, встановлення конкурентоспроможних цін, побудова стратегії маркетингу
3	Фінансові обмеження	Нестача коштів для проведення досліджень, розробки та масового впровадження	Активний пошук інвесторів, залучення фінансової підтримки від грантів, оптимізація бюджету.

<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>

ЗВ-21мп.02.000ПЗ

Арк.

69

Таблиця 5.7 – Фактори можливостей стартап проекту модифікування поверхні сплаву ЧС88У за допомогою ВПП [20].

№	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Технологічні інновації	Розробка та вдосконалення унікальної технології модифікування поверхні для дифузійного зварювання	Інтенсивний дослідницький відділ, постійне вдосконалення технічних рішень, активний патентний захист.
2	Глобальний попит на інновації	Збільшення попиту на технологію модифікування за допомогою ВПП у світі	Експансія на міжнародні ринки, створення стратегій збільшення обсягів виробництва.
3	Гнучкість виробництва	Здатність пристосовувати процес модифікації для різних розмірів та форм сплавів	Інвестиції у гнучкі системи виробництва, зокрема, автоматизацію та роботизацію.
4	Оптимізація вартості виробництва	Зменшення витрат на виробництво шляхом оптимізації процесів та використання високоефективного обладнання.	Систематичне вдосконалення виробничих процесів та пошук нових рішень для економії ресурсів.

Далі проводився аналіз конкуренції ринку:

Таблиця 5.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку [20].

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
Чиста конкуренція	Всі підприємства змагаються між собою в виготовленні деталей із сплаву ЧС88У на рівних умовах	Покращення технології модифікування
Національна конкурента боротьба	Газотурбінні лопатки та двигуни виготовляються по всьому світі	Знаходження покупців по всьому світі для збільшення прибутку
Внутрішньогалузева конкуренція	Конкуренція проходить в середині галузі	Постійний аналіз конкурентів та їх напрацювань
Товарно-видова конкуренція	Конкуренція за видом модифікування поверхні	Розвиток модифікування за допомогою ВПП
Цінова перевага	Більш дешеві способи модифікування	Покращення собівартості модифікування за рахунок знаходження більш дешевих матеріалів та обладнання для модифікування

Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата

ЗВ-21мп.02.000ПЗ

Арк.

71

Далі проведено аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Таблиця 5.9 – Аналіз конкурентів в галузі за М.Портера [20].

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товарозамінники
	Модифікування під дією лазерного пучка, плазмового газового потоку,	Компанії, які в майбутньому будуть виконувати у сфері модифікування поверхонь	Ливарні підприємства, що виливають сплав ЧС88У	Siemens, Solar General Electric, Pratt & Whitney.	Можливий розвиток магнітоплазмових прискорювачів в майбутньому
Висновки	Можлива конкуренція, так як технологія набуває популярності	Поки що є лише прямі конкуренти	Від постачальників залежить пряма поставка сплаву, який буде модифікуватися	Клієнти є прямими замовниками продукції, тому без них модифікування не має сенсу	Поки що модифікування за допомогою ВПП є найбільш передовим способом модифікування поверхні

З огляду конкурентної ситуації робота на ринку більш ніж можлива, для конкурентноспроможності метод модифікування має відповідати критеріям замовників та собівартості процесу модифікування в порівнянні з іншими способами модифікації поверхні.

Далі формується обґрунтування факторів конкурентноспроможності.

Таблиця 5.10 – обґрунтування факторів конкурентноспроможності [20].

№	Фактор конкурентноспроможності	Обґрунтування
1	Можливість використання активних газових середовищ з вмістом HF і BF ₃	При цьому способі модифікування можливо застосовувати активні газові середовища з вмістом HF і BF ₃ що не є можливим для інших способів модифікування
2	Якість та Витрати	Оптимізація процесів для досягнення високої якості модифікації при ефективному використанні ресурсів, що робить продукт вигідним для клієнтів
3	Технологічна інноваційність	Використання передових технологій модифікування за допомогою ВПП, що забезпечує покращення властивостей з'єднань та досягнення нового технічного рівня

Після чого проводиться аналіз сильних та слабких сторін модифікування поверхонь жароміцного сплаву ЧС88У за допомогою висококонцентрованих плазмових потоків.

Таблиця 5.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін модифікування поверхні сплаву ЧС88У за допомогою ВПП [20].

№	Фактор конкурентноспроможності	Бали	Рейтинг конкурентів у порівнянні з модифікуванням за допомогою ВПП							
			- 3	- 2	- 1	0	+ 1	+ 2	+ 3	
1	Використання активних газів HF і BF ₃	20								+
2	Якість та Витрати	15					+			
3	Технологічна інноваційність	15						+		
4	Можливість отримання поверхневих тріщин через перегрів сплаву	10				+				
5	Рекристалізація сплаву	10				+				

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу

Таблиця 5.12 – SWOT-аналіз модифікування поверхні сплаву ЧС88У за допомогою ВПП [20].

<p>Сильні сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Можливість використання активних газів HF і BF₃ - Якість та Витрати - Технологічна інноваційність 	<p>Слабкі сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Можливість отримання поверхневих тріщин через перегрів сплаву - Рекристалізація сплаву
<p>Можливості:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Технологічні інновації - Глобальний попит на інновації - Гнучкість виробництва - Оптимізація вартості виробництва 	<p>Загрози:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Технічні труднощі - Конкуренція на ринку - Фінансові обмеження

На основі SWOT-аналізу проводився аналіз ринкового впровадження стартап проекту

Таблиця 5.13 – Альтернативи ринкового впровадження модифікування поверхні сплаву ЧС88У за допомогою ВПП [20].

№	Альтернатива ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Ринок Співпраці та Ліцензування Технології: замість власного виробництва продукції, стартап може укласти угоди з існуючими виробниками для використання їх технології	Висока	12 місяців
2	Продаж Ліцензій на Технологію: Вирішення проблем введення продукції на ринок через продаж ліцензій іншим виробникам.	Максимальна	10-12 місяців

Отже обраною альтернативою є продаж ліцензії на технологію

5.4. Розроблення ринкової стратегії проекту

Спочатку треба визначити стратегію охоплення ринку:

											Арк.
											75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>						

Таблиця 5.14 – Цільова група потенційних споживачів [20].

№	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу в сегмент
1	Підприємства по виготовленню газотурбінних лопаток, газотурбінних двигунів морських суден та енергетичних газотурбінних установок	Висока	Високий	Невисока	Середня

Пропонуватися модифікування буде для підприємств, які займаються виготовленням газотурбінних лопаток, газотурбінних двигунів морських суден та енергетичних газотурбінних установок.

Далі потрібно визначити базову стратегію розвитку:

Таблиця 5.15 – Визначення базової стратегії розвитку [20].

№	Обрана альтернатива розвитку	Стратегія охоплення ринку	Ключові контурентноспроможні пропозиції	Базова стратегія розвитку
1	Продаж ліцензії на технологію	Введення продукції на ринок через продаж ліцензій іншим виробникам.	Ексклюзивні права на технологію, яка буде покращувати якість деталей	Стратегія спеціалізації

Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

ЗВ-21мп.02.000ПЗ

Арк.

76

Далі обирається стратегія конкурентної поведінки:

Таблиця 5.16 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки [20].

№	Чи є проєкт першопрохідцем на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента ?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Проєкт на ринку не є першопрохідцем, так як дослідження проводились і раніше, але цей проєкт найближчий до завершення	Будуть шукатися як нові клієнти, так і будуть пропонуватися ідеї для клієнтів, які працюють з конкурентами	Компанія буде використовувати власні дослідження	Стратегія виклику лідера

Тепер варто визначитися із стратегією позиціонування:

Таблиця 5.17 – Стратегія позиціонування [20].

№	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентно-спроможні позиції стартап проєкту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проєкту
1	Собівартість та надійність модифікованого шару	Стратегія спеціалізації	Кваліфіковані спеціалісти, та дослідники, які зможуть прискорити дослідження технології	Надійність Довговічність

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЗВ-21мп.02.000ПЗ

Арк.

77

Після виконання розділу, було прийнято рішення, що проєкт по модифікуванню поверхні жароміцного сплаву ЧС88У буде розвиватися по стратегії спеціалізації та притримуватися стратегії виклику лідера по відношенню до конкурентів.

5.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту

Спочатку сформуємо маркетингову концепцію товару, який отримає споживач.

Таблиця 5.18 – Визначення ключових переваг концепції модифікування поверхні сплаву ЧС88У за допомогою ВПП [20].

№	Потреба	Вигода	Ключові переваги
1	Модифікування поверхні жароміцних сплавів для покращення якості зварювання	При модифікуванні висококонцентрованими потоками плазми у заготовках активується поверхня, що призводить до покращення зварювання, та покращується міцність з'єднань, що призводить до більшої довговічності деталей та загалом виробів.	Можливість використання активних газів HF та VF ₃ та отримання модифікованого шару близьким до основного металу хімічним складом

Після чого розробляється трирівнева маркетингова модель товару:

Таблиця 5.19 – Опис трьох рівнів моделі товару [20].

Рівні товару	Сутність та складові
Товар за задумом	Технологія по модифікуванню жароміцного сплаву ЧС88У за допомогою ВПП
Товар у реальному виконанні	Технологія по модифікуванню жароміцного сплаву ЧС88У за допомогою ВПП
Товар із підкріпленням	Від копіювання технологія буде захищена патентуванням

																				Арк.	
																					78
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата																	

ЗВ-21мп.02.000ПЗ

Як було вказано в таблиці 5.19 товар від копіювання буде захищати патентування технології та законодавство України, щодо запатентованої власності.

Наступним кроком є визначення меж встановлення ціни:

Таблиця 5.20 – Визначення меж встановлення ціни [20].

№	Рівень цін на товар замітник	Рівень цін на товари аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межа встановлення ціни на технології
1	240000 грн	380000 грн	Капіталообіг Pratt & Whitney сягає близько 18.15 млрд. долларів	200000-280000 грн

Після визначення ціни треба визначити оптимальну систему збуту:

Таблиця 5.21 – Формування системи збуту [20].

№	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Клієнти купують технологію, яку будуть використовувати в подальшому на підприємстві	Надання технології на підприємство	Канал збуту від виробника до споживача	Збут між різними підприємствами

Останім є розроблення концепції маркетингових комунікацій:

Таблиця 5.22 – Концепція маркетингової комунікації [20].

№	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій цільових клієнтів	Ключові позиції для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Підприємства купують технологію з подальшим використанням на довгий період і головним фактором для підприємства є отримання прибутку, тому в першу чергу підприємство дивиться на собівартість товару	Кожне підприємство підписує документи про комерційну таємницю тому частіше за все підприємства не мають прямої комунікації	Ключовими позиціями є собівартість технології модифікування сплаву та покращення якості зварювання	Показати споживачу (підприємству), що використання технології зможе принести підприємству прибуток	Технологія модифікування поверхонь допоможе вашому підприємству підвищити якість конструкцій та збільшити прибуток підприємства

Отже, з аналізу було визначено, що товар – це технологія модифікування поверхні сплаву ЧС88У за допомогою ВПП, з межами ціноутворення від 200000 до 280000 грн. Технологія буде надаватися напряму на підприємства, як шлях для збільшення прибутку підприємства та якості зварних з'єднань.

Висновки

Виконавши розділ, я прийшов до думки, що технологія модифікування поверхні сплаву ЧС88У за допомогою ВПП має можливість ринкової комерціалізації проекту, так-як попит на ринку є та ринок знаходиться на стадії інтенсивного розвитку. Ідея має перспективи для впровадження, оскільки клієнтів багато, та вони мають можливість купувати цю технологію.

					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>	Арк.
						81
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Мета даного розділу полягає у встановленні вимог з метою зменшення негативного впливу на здоров'я працівників, що виникає при дифузійному зварюванні жароміцного сплаву ЧС88У з модифікованими поверхнями висококонцентрованими потоками плазми.

Для проведення зварювальних робіт при з'єднанні жароміцного сплаву ЧС88У з модифікованими висококонцентрованими потоками плазми поверхнями використовується дифузійне зварювання, а для модифікації поверхні за допомогою ВПП використовується магнітно плазмовий прискорювач компактної геометрії. Сам процес зварювання і процес модифікації залишаються потенційно небезпечними для здоров'я працівників.

6.1 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів (ШНВФ)

До шкідливих факторів при дифузійному зварюванні можна віднести:

Виділення аерозолів і газів: Процес дифузійного зварювання може супроводжуватися виділенням аерозолів і газів, таких як оксиди або інші токсичні речовини, що можуть негативно впливати на здоров'я працівників. Для захисту оператора від газів використовують приточно-витяжну вентиляцію та герметичну камеру.

Викиди пилу: У разі обробки металевих матеріалів під час зварювання може утворюватися пил, який містить фрагменти металу або інші шкідливі речовини. Вдихання пилу може призвести до ризику захворювань дихальних шляхів. Для захисту від пилу варто носити захисний одяг, що запобігає проникненню пилу на шкіру та вдиханню його.

					<i>ЗВ-21мп.02.00.000ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Корсун Д.С.</i>			<i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Архів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Левченко О.Г.</i>					1	17
<i>Н. Контр.</i>		<i>Лисак В.В.</i>			<i>Дифузійне зварювання сплаву ЧС88У з поверхнями з'єднань, модифікованими висококонцентрованими потоками плазми</i>	<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського НН ІМЗ. Е. О. Патона</i>		
<i>Затверд.</i>		<i>Квасницький В.В.</i>						

Електромагнітне випромінювання: Великі струми, які використовуються при зварюванні, можуть призводити до випромінювання електромагнітного поля, що може бути шкідливим для здоров'я. Для захисту варто носити спеціальний одяг та головний убір, що має екранувальні властивості.

Теплове випромінювання: Високі температури, які виникають під час зварювання, створюють теплове випромінювання, яке може бути небезпечним для областей навколишнього середовища і працівників. Для захисту необхідно розташовувати робочі місця так, щоб працівники перебували на безпечній відстані від джерела теплового випромінювання.

Утворення аерозолів і газів: Зварювальні процеси часто супроводжуються утворенням аерозолів і газів, які можуть містити токсичні речовини, такі як металеві оксиди чи інші хімічні сполуки. Для захисту варто використовувати індивідуальні засоби захисту та регулярно вимірювати концентрації шкідливих речовин у робочому середовищі. Планування робочих місць так, щоб працівники були якнайдалі від джерела забруднення повітря. Проведення навчань та інструктажів щодо безпеки під час зварювання

Ризик опіків та травм: Висока температура та робочі умови можуть призводити до можливості отримання опіків або інших травм працівниками, які працюють з процесом. Для захисту та уникнення опіків та травм варто використовувати спеціальний захисний одяг для зварювання, який включає в себе вогнезахисний комбінезон, рукавички, черевики та шолом із захисним забором, використання автоматичного шолома або захисних окулярів для захисту очей від яскравого світла та іскор. Забезпечення, щоб шолом мав захисний фільтр, який відповідає вимогам безпеки, переконатися, що робоча зона не містить горючих та легкозаймистих речовин. Забезпечення наявності першої допомоги та засобів для швидкої реакції на травми.

Шум: Виникає через шум при самому процесі зварювання. Для зниження рівня шуму можливо проводити акустичну обробку приміщення, шляхом облицювання стелі і стін. Боротьба із шумом вимагає застосування не лише особистих засобів захисту, але й будівельних рішень, таких як створення

										<i>Арк.</i>
										83
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>	

поверхонь звуко поглиблюючої природи, а також використання дистанційних методів управління.

Основні шкідливі фактори, що виникають при зварюванні і модифікуванні наведені в таблиці 6.1

Таблиця 6.1 – Набезпека і шкідливі виробничі фактори

№	Фактори виробничого середовища та організації праці		Дифузійне зварювання	Модифікування
1	Шкідливі речовини		-	Xx
2	Випромінювання в оптичному діапазоні	Ультрафіолетове	-	x
		Видиме	-	Xx
		Інфрочервоне	-	X
3	Електромагнітні поля		xx	-
4	Магнітні поля		-	-
5	Іонізуючі випромінювання		-	-
6	Шум		X	-
7	Ультразвук		Xx	-
8	Статичне навантаження руху		-	X
9	Електричний струм		Xx	Xx
10	Іскри, бризки		-	X
11	Механізми і вироби що рухаються		Xx	X

де xx- інтенсивний фактор, x- проміний фактор, - незначний фактор.

6.2 Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці

Для захисту очей, шкіри голови та шиї від іскор та бризок використовують спеціальні захисні щитки для рук і голови. Ці захисні засоби виготовляються відповідно до вимог, визначених у стандарті ДСТУ EN 175-2001 «Засоби індивідуального захисту очей та обличчя під час зварювання та споріднених процесів» (EN 175:1997, IDT) [21].

Щитки включають світлофільтри, розроблені для захисту очей від ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання. Під час модифікації випромінювання слід послабити на 10 разів за допомогою світлофільтрів. Для дифузного зварювання обрані фільтри із ступенем захисту 14. Важливо уникати використання більш захисних фільтрів, оскільки це може погіршити видимість та умови для контролю якості роботи.

										Арк.
										84
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата	ЗВ-21мп.02.000ПЗ					

Одяг для захисту зварників відповідає вимогам стандарту ДСТУ EN ISO 11611:2016 «Одяг захисний для використання під час зварювання та суміжних процесів» (EN ISO 11611:2015, IDT; ISO 11611:2015, IDT) [22]. Це включає костюм із полегшеного брезенту та захисними накладками з тканини типу фенілон, яка стійка до опромінення.

Зварювальне обладнання, яке використовується у технологічних процесах зварювання та наплавлення, повинно відповідати вимогам наступних нормативних документів: ДНАОП 0.00-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» [23] та ДНАОП 0.00-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок» [24].

6.2.1 Забезпечення вимоги організації робочих місць

Організація, облаштування та оснащення робочих місць для проведення зварювальних робіт відповідають вимогам НПАОП 28.5-1.02-07 [25]. Обладнання повинно бути розташоване відповідно до таких параметрів та вимог:

- відстань між стіною лабораторії та обладнанням не менше 0,5 м;
- відстань між стаціонарними джерелами живлення не менше 0,8 м;
- відстань між рухомими механізмами та переміщуваними деталями не менше 1,5 м.

Робоче місце зварника, зокрема розташування робочої поверхні, органів управління та контролю, повинно відповідати вимогам ДСТУ 20549-75 «Дифузійне зварювання у вакуумі робочих елементів розділових та формотворчих штампів. Типовий технологічний процес» [26].

Стаціонарні робочі місця для зварювання металоконструкцій масою понад 15 кг повинні бути обладнані вантажопідйомними пристроями.

										Арк.
										85
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата	ЗВ-21мп.02.000ПЗ					

Для дифузійного зварювання необхідно використовувати робочі місця, які мають захист у вигляді стаціонарних або переносних непрозорих огорож з вогнетривкого матеріалу. Висота цих огорож повинна складати не менше 2,5 м, забезпечуючи водночас високу надійність захисту.

Поверхні підлог в промислових приміщеннях, де проводиться дифузійне зварювання та модифікування поверхонь, повинні відповідати вимогам до вогнестійкості, мати низький теплопровід, а також мати рівну і нековзку поверхню.

Повітря, яке видаляється з виробничих приміщень у навколишню атмосферу, повинне пройти через фільтрацію для видалення шкідливих речовин. Концентрація цих речовин не повинна перевищувати припустимі норми викидів.

Подача повітря проводиться у робочу зону або в напрямку робочої зони. Температура повітря повинна становити не менше +20 °С відповідно до вимог ДСН 3.3.6.042-99 "Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень"[27].

Нормативи для мікроклімату регламентуються відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 "Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень". Встановлені оптимальні та припустимі параметри для мікроклімату, які включають в себе такі показники, як:

- відносна вологість повітря;
- температура повітря;
- швидкість руху повітря;
- температура поверхні.

У залежності від характеру виконуваних завдань і сезону року встановлені оптимальні та допустимі умови для мікроклімату робочих зон виробничих приміщень. Параметри мікроклімату слід адаптувати для найбільшої групи працівників, особливо тоді, коли в робочій зоні одночасно

										<i>Арк.</i>
										86
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>	

виконуються завдання різного рівня складності. Різниця температур повітря по висоті робочої зони не повинна перевищувати 3 градуси Цельсія для всіх видів робіт, а горизонтальна робоча зона повинна відповідати припустимим температурним нормам.

Температура стін, підлоги та стелі не повинна виходити за визначені межі температури повітря, включаючи також температуру зовнішніх поверхонь обладнання. Теплове випромінювання технічного устаткування та світлових приладів не повинно перевищувати 35 Вт/м². У випадку відкритих джерел випромінювання допускається 140 Вт/м². Площа опромінювання не повинна перевищувати 25% поверхні тіла працівника.

6.2.2 Вимоги до експлуатації зварювального обладнання

Обладнання, яке використовується для усіх основних видів дифузійного зварювання, включаючи технологічне, механічне та допоміжне обладнання, повинне відповідати вимогам ДСТУ 20549-75 [26].

6.2.3 Захист від теплового випромінювання

На постійних робочих місцях необхідно дотримуватися припустимих значень інтенсивності теплового випромінювання в оптичному діапазоні, включаючи ультрафіолетове, видиме та інфрачервоне випромінювання. У випадку, коли з технічних причин не можливо досягти зазначеної щільності потоку випромінювання, слід вживати заходів захисту. Ці заходи включають екранування джерела випромінювання, використання кабін або поверхонь із радіаційним охолодженням, повітряне душення (з допустимою швидкістю руху повітря менше 3,5 м/с), а також використання теплозахисних килимків, взуття та охолоджувальних костюмів.

					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		87

6.2.4 Вимоги до електробезпеки

Основні причини поразки персоналу електричним струмом включають доторкання до струмоведучих частин, які перебувають під напругою в робочому режимі; доторкання до струмоведучих частин, які випадково опинилися під напругою; доторкання до неструмоведучих частин, що опинилися під напругою внаслідок пошкодження електроізоляції; ураження електричною дугою та напругою. Виробничі приміщення, з точки зору можливого поразки електричним струмом, вважаються особливо шкідливими. Експлуатація зовнішніх електроустановок вважається аналогічно умовам експлуатації в особливо небезпечних приміщеннях. Для захисту від ураження струмом в аварійному режимі застосовують заходи, такі як заземлення, занулення, вимикання та подвійна ізоляція. Заземлення застосовують у випадках, коли живлення здійснюється від мереж із ізольованою нейтраллю або мережі з глухозаземленою нейтраллю напругою понад 1000 В. Електричне обладнання для зварювання і наплавлення, а також його експлуатація повинні відповідати вимогам ДНАОП 0.00-1.32-01 [24] та ДНАОП 0.00-1.21-98 [23]. Заземлення корпусу будь-якої електрозварювальної установки є обов'язковим. Захисне заземлення і занулення слід виконувати відповідно до Правил устрою електроустановок ПУЕ-2017 [27]. Послідовне включення в заземлюючий провідник кількох пристроїв забороняється.

6.3 Розрахунок інженерного рішення

Вибір конфігурації місцевого витяжного пристрою, об'єму повітря, що відсмоктується, методу очищення повітря, а також оптимальна вартість обладнання залежать від методу зварювання, типу і марки зварювальних матеріалів, форми зварюваного виробу, об'єму приміщення, кількості зварювальних постів та інших факторів. Відповідно до рекомендацій визначаємо схему вентиляції для дифузійного зварювання. Обираємо систему витяжки для відсмоктування шкідливих речовин. Визначаємо необхідний

										Арк.
										88
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата	ЗВ-21мп.02.000ПЗ					

об'єм видалення повітря, керуючись потрібною швидкістю видалення за допомогою формули:

$$L_m = 3600 \cdot F_0 \cdot V_0,$$

де F_0 – площа відкритого перерізу витяжного отвору відсмоктувача, - 0.07 м²;

V_0 – швидкість всмоктування повітря у цьому прорізі, м/с.

Для цього необхідно розрахувати швидкість повітря в отворі відсмоктувача, що рахується за формулою:

$$V_0 = 16 \cdot V_x \cdot (x/d)^2,$$

де V_x – швидкість повітря в зоні зварювання, 0,3 м/с; x – відстань від вхідного

отвору воронки до зони зварювання, 0,25 м; d – діаметр вхідного отвору, 0,2

м;

$$V_0 = 16 \cdot 0,3 \cdot (0,25/0,2)^2 = 7,5 \text{ м/с},$$

$$L_m = 3600 \cdot F_0 \cdot V_0 = 3600 \cdot 0,07 \cdot 7,5 = 1890 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Після розрахунків визначаємо, що кількість повітря, яку необхідно видалити, становить 1890 м³/год. Проводимо монтаж витяжної системи для дифузійного зварювання.

6.4 Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях

До можливих небезпек, які можуть виникнути на виробництві, відносяться такі: пожежа; вибух (всередині обладнання, будівель або навколишнього середовища); розрив або поломка обладнання; викид шкідливих речовин; поєднання перелічених видів небезпеки. З метою попередження та усунення виникнення надзвичайних (аварійних) ситуацій на підприємстві, важливо мати план локалізації та усунення аварій у відповідності до положення [28]. Під час аналізу ризиків на підприємстві (або об'єкті) слід ідентифікувати всі можливі аварійні ситуації і аварії, включаючи ймовірні, з катастрофічними наслідками, які можуть трапитися на підприємстві. Сценарії розвитку цих ситуацій повинні бути розглянуті, а їх наслідки оцінені. Виявлення можливостей та умов виникнення аварій повинно

					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>	Арк.
						89
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

базуватися на аналізі роботи як окремого обладнання (апаратів, машин і т. д.), так і їх груп (технологічних блоків), з урахуванням небезпечних властивостей використовуваних речовин і матеріалів (вибухопожежонебезпечних та шкідливих) на виробництві. Важливо враховувати параметри стану речовин (температура, тиск, агрегатний стан і т.д.) і стану обладнання, які можуть відповідати як нормальному технологічному режиму, так і режимам, які можливі в разі виникнення та розвитку аварії.

Повітряна тривога:

Повітряну тривогу оголошують у випадках, коли сили протиповітряної оборони зафіксували рух ворожих літаків у напрямку міста або отримали підтвердження про запуск балістичних ракет. Якщо ви почуєте сигнали сирен:

- негайно вживайте заходів, передбачених Планом дій або Інструкцією, та дійте відповідно до вказівок керівництва.

- Без паніки швидко займіть місце у захисній споруді (наприклад, сховище чи підвальне приміщення) та дотримуйтеся вимог старшого (коменданта).

Отже, важливо підкреслити: якщо ви чуєте сигнали сирен, негайно вийдіть в укриття і залишайтеся там до отримання сигналу "Відбій повітряної тривоги!".

6.4.1 Пожежна безпека

Відповідно до стандарту ДСТУ Б В.1.1-36:2016 [29], який визначає категорії приміщень, будівель і зовнішніх установок за ризиком вибуху та пожежною небезпекою, приміщення, де виконуються зварювальні роботи, віднесені до категорії Г. У таких приміщеннях визначається зона обертання твердих вгорючих речовин (зона II-Па, згідно з ДНАОП 0.00–1.21–98 "Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів") [23]. Категорія згідно з нормами безпечних експериментальних зазорів між фланцями оболонки визначається як ПА (більше 0,9 мм).

									Арк.
									90
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата					

ЗВ-21мп.02.000ПЗ

Ступінь вогнестійкості будівлі визначено на рівні 1 (заборона поширення вогню на основні будівельні конструкції), мінімальна допустима вогнестійкість становить 2,5 години.

З метою забезпечення пожежної безпеки використовуються такі заходи:

1. Застосування максимального струменевого захисту для уникнення спалаху ізоляції.
2. Використання надійної герметизації обладнання для уникнення утворення горючого середовища.
3. Встановлення пожежної сигналізації з датчиками.
4. Дотримання вимог електростатичної та мікробезпеки при організації технологічного процесу.
5. Наявність аварійного зливання рідин, що можуть призвести до пожежі.
6. Проведення періодичної очистки робочого місця та обладнання від горючих відходів.
7. Обладнання приміщення засобами захисту від пожежі та захисту від диму.
8. Використання захисних протипожежних щитків на ділянках, де проводяться зварювальні роботи, обладнаних вогнегасниками та ящиками з піском.
9. Перевірка регулярності сухості піску.
10. Наявність автоматичної системи гасіння пожежі.
11. Встановлення датчиків для автоматичного виявлення пожежі в приміщенні, які надсилають сигнал для включення автоматичної системи гасіння пожежі.

					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>	Арк.
						91
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

6.4.2 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

У разі, якщо на корпусі зварювального агрегату виникає пробій електричної напруги, слід відключити рубильник та повідомити про це майстра або начальника ділянки. У випадку, якщо хтось потрапляє під напругу, необхідно відключити зварювальний агрегат від мережі, помістити потерпілого на дерев'яний настил, підклавши під голову ватник, викликати лікаря за телефоном 103 і, при необхідності, здійснити штучне дихання.

У випадку виникнення пожежі на зварювальному агрегаті, слід відключити рубильник і негайно розпочати гасіння за допомогою вогнегасника. Кожен працівник чи службовець, який помітив пожежу чи загоряння, повинен:

- відразу повідомити пожежну охорону за телефоном 101;
- розпочати гасіння вогню наявними в цеху (на ділянці) засобами пожежогасіння (вогнегасник, пісок, пожежний кран і т.д.);
- викликати на місце пожежі посадових осіб (начальника цеху, ділянки).

У разі отримання травми слід негайно повідомити майстра, начальника ділянки та звернутися в медпункт.

Якщо описати по пунктно, то вимоги виглядають наступним чином:

1. План евакуації:

- Розроблення та ознайомлення з планом евакуації.
- Встановлення маршрутів евакуації та місць виходу.
- Організація регулярних тренувань та перевірок готовності персоналу до оперативної евакуації.

2. Системи сигналізації та сповіщення:

- Встановлення аварійних сигналізаційних систем.

										Арк.
										92
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата						

ЗВ-21мп.02.000ПЗ

- Забезпечення наявності ефективних засобів зв'язку для швидкого інформування персоналу та екстрених служб.

3. Засоби індивідуального та групового захисту:

- Забезпечення персоналу необхідними засобами індивідуального захисту (ІЗЗ) згідно з можливими аварійними сценаріями (респіратори, костюми, гелемічні фільтри тощо).

4. Аварійне освітлення:

- Розміщення аварійних джерел світла для забезпечення видимості та евакуації в умовах відсутності основного освітлення.

5. Запобігання паніці:

- Проведення навчань персоналу щодо розумного та контрольованого реагування на аварійні ситуації, уникання паніки.

6. Перевірка обладнання та систем безпеки:

- Регулярна перевірка та обслуговування систем безпеки, включаючи сигналізаційні, гасіння пожеж, димові витяжки та інше обладнання.

7. Постійний моніторинг навколишнього середовища:

- Забезпечення функціонування систем моніторингу шкідливих речовин у повітрі та наявність необхідних заходів для захисту в разі забруднення.

8. План дій у випадку аварії:

- Розроблення та вивчення плану дій у надзвичайних ситуаціях.
- Проведення тренувань персоналу для швидкого та ефективного реагування на аварійні ситуації.

9. Лікувальні заходи:

- Наявність першої допомоги та медичного обладнання.
- Тренування персоналу щодо надання першої допомоги в умовах аварії.

					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>	Арк.
						93
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. Обробка поверхонь жароміцних сплавів високоенергетичними потоками плазми дозволяє ефективно регулювати структуру, хімічний та фазовий склад поверхневих шарів заготовок зі сплаву ЧС88У та інших жароміцних сплавів на основі нікелю, призводить до зміни текстури, параметрів шорсткості та хвилястості поверхонь, які можуть регулюватися режимами обробки ВПП, зокрема енергією в імпульсі, їх кількістю та відстанню від зрізу торця плазмового прискорювача до поверхні оброблюваного зразка.
2. Модифікування поверхонь за допомогою ВПП дозволяє активувати поверхні для подальшого ДЗ, забезпечує суттєве зменшення опору деформуванню жароміцного сплаву за рахунок зменшення твердості модифікованого шару, збільшує на два і більше порядки щільність дислокацій, забезпечує формування субмікрокристалічної структури, близької, на окремих ділянках, до наноструктури, що призводить до суттєвого зростання рівня накопиченої міжзеренної енергії та схильності оброблених поверхонь до міжфазної взаємодії за температури ДЗ.
3. Визначені рекомендовані параметри режимів модифікування та ДЗ заготовок з модифікованими ВПП поверхнями та умови ведення процесу ДЗ.
4. Створенні технологічні рекомендації по виконанню ДЗ заготовок дисперсійнотвердіючого сплаву на основі нікелю ЧС88У та визначені шляхи подальшого розвитку технологій ДЗ суперсплавів.
5. Проведений економічний аналіз доцільності реалізації запропонованої технології та створений стартап-проект.
6. В роботі розглянуті питання забезпечення охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

										Арк.
										94
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата	ЗВ-21мп.02.000ПЗ					

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Спеціальні способи зварювання: підручник / І. Кривцун [та ін.] ; ред. Б. Патона. – Миколаїв : НУК, 2017. – 348 с.
2. В.В. Квасницький Спеціальні способи зварювання: Навчальний посібник. – Миколаїв: УДМТУ, 2003. – 437 с.
3. Дифузійне зварювання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ua-referat.com/Дифузійне_зварювання.
4. Технологія дифузійного зварювання. (Лекція 17) - презентація онлайн [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ppt-online.org/273480>.
5. Дифузійне зварювання у вакуумі жароміцного сплаву на Ni основі / Л. Петрушинець [та ін.]. – [Б. м.] : Технічні науки та технології, 2017.
6. Мусін Р.А. Дифузійне зварювання жароміцних сплавів / Р.А. Мусін, В.М. Анціферов, В.Ф. Квасницький. -М.: Металургія, 1979. -208 с.
7. Davies, B.J., Stephenson, S. Diffusion bonding and pressure brazing of Nimonic 90 nickel-chromium-cobalt alloy. British Welding Journal, vol. 2, no 3, 1962. 139–48.
8. Formation of solid-phase compound from nickel alloys ek79 and ep975 / E. Galieva [et al.]. – Ufa : Institute for Problems of Superplasticity of Metals RAS, 2017. – 12 p.
9. Квасницький В.В. Дифузійне зварювання з керованим напружено-деформованим станом і модифікуванням поверхонь з'єднання : Рукопис / В.В. Квасницький. – 34 с.
10. Інженерія поверхні / К. Ющенко [та ін.]. – Київ : Наук. думка, 2007. – 559 с.
11. Морозов А. І. Плазмові прискорювачі / А. І. Морозов, А. П. Шубін., 1984. – 260 с.
12. Асташинський, В.М. Дослідження фізичних процесів, що зумовлюють режими роботи КСПУ [Текст]/В.М. Асташинський, А.А. Маньківський, Л.Я. Мінько, А.І. Морозов// Фізика плазми. – 1992. – Т. 18, № 1. – С. 90-98.

					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>	Арк. 95
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

13. Модифікація матеріалів компресійними плазмовими потоками / [В. В. Углов, Н. Н. Черенда, В. М. Анищик та ін.]. – Мінск, 2013. – 248 с.
14. Kostyukevich E. A. Capabilities of Optical Pressure Sensor in Plasma Experiment // Abstracts of invited lectures and posters of the 4th Yugoslav-Belarusian Symposium on Physics & Diagnostics of Laboratory & Astrophysical Plasma, Belgrade, Yugoslavia, 2002. – P. 18.
15. Углов, В.В. Елементний та фазовий склад системи цирконій/сталь, змінної впливом компресійних плазмових потоків [Текст]/В.В. Углов, Н.М. Черенда, Е.К. Стальношенко та ін. // Фізика та хімія обробки матеріалів, 2007 № 1
16. Кишкин С. Т. Ливарні жароміцні сплави на нікелевій основі / С. Т. Кишкин, Г. Б. Строганов, А. В. Логунов., 1987. – 116 с.
17. Сплав ХН57КВЮТМБРЛ (ЧС88У) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://evек.org/materials/splav-hn57kvyutmbtrl-chs88u.html>.
18. Монастирська Е. В. Структура, фазовий склад та властивості корозійностійкого жароміцного сплаву ЧС88У / Е. В. Монастирська, Г. И. Морозова, Ю. Б. Власов., 2006. – 16 с.
19. Ефекти модифікації поверхні матеріалів потужним електронним пучком та її вплив на формування зварних з'єднань: Звіт про НДР (заключний). Національний університет кораблебудування, наук. кер. Квасницький В.Ф., відпов. викон. Квасницький В.В. – Миколаїв: НУК, 2010.– 132 с.
20. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей – Київ: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2016. – 27с.
21. ДСТУ EN 175-2001 Засоби індивідуального захисту очей та обличчя під час зварювальних та споріднених процесів (EN 175:1997, IDT)

22. ДСТУ EN ISO 11611:2016 "Одяг захисний для використання під час зварювання та суміжних процесів" (EN ISO 11611:2015, IDT; ISO 11611:2015, IDT)
23. ДНАОП 0.00-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.
24. ДНАОП 0.00-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок.
25. НПАОП 28.5-1.02-07. Правила охорони праці при термічній обробці металів.
26. ДСТУ 20549-75 «Дифузійне зварювання у вакуумі робочих елементів розділових та формотворчих штампів. Типовий технологічний процес»
27. ПУЕ Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання)
28. Положення щодо розробки планів локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій, № 424/3717 від 30.06.1999 р.
29. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою

					<i>ЗВ-21мп.02.000ПЗ</i>	Арк.
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		97