

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Фізико-технічний інженерно-фізичний
(повне найменування інституту, назва факультету)
Фізичного матеріалознавства
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

Магістр

(ступінь вищої освіти (освітній ступінь))

на тему Застосування математичного моделювання
при оптимізації технології виробництва деталей
із композитного матеріалу системи, №-П-11

Виконав: студент 5 курсу, групи Фр-2/3
спеціальності (напряму підготовки)

132. Матеріалознавство
(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

Кревокеренко В.Є.
(прізвище та ініціали)

Керівник Вініченко В.Р.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Василь Т.П.
(прізвище та ініціали)

м.Запоріжжя
2018 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет Інженерно-фізичний
 Кафедра Фізичного матеріалознавства
 Ступінь вищої освіти (освітній ступінь) магістр
 Спеціальність Тришарове матеріалознавство
 (код і назва)
 Напрямок підготовки 132 "Матеріалознавство"
 (код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Пилипів О. В.

" 13 " 12 2018 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Криворучко Крістіна Євгенівна
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Застосування математичного моделювання при оптимізації технології виробництва деталей із композитного матеріалу системи 16-Ti-W
 керівник проекту (роботи) Вітченко Валерій Степанович канд. тех. наук
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від " 18 " 10 2018 року № 264

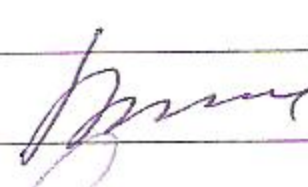
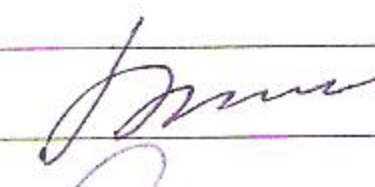
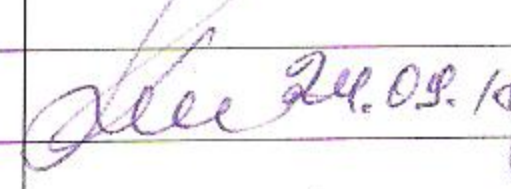
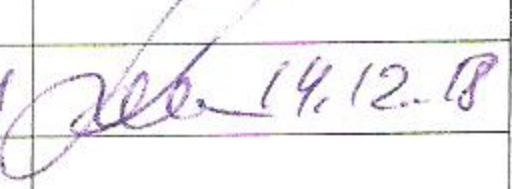
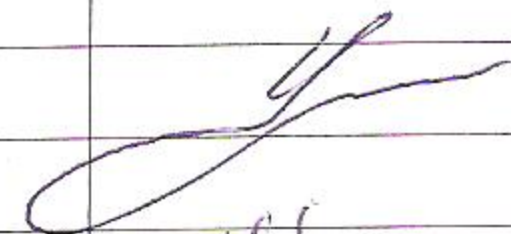
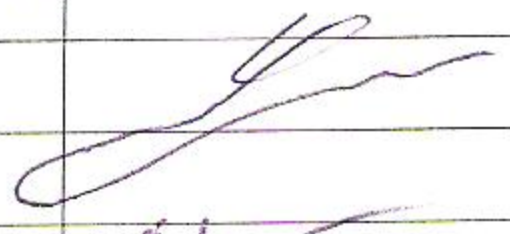
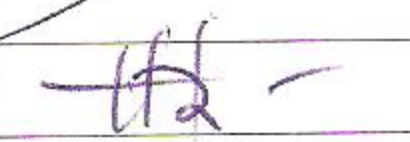
2. Строк подання студентом проекту (роботи)

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Хімічний склад та властивості матеріалів системи і вимоги; Інформація про формування композитних матеріалів.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Розділ 1. Можливості підвищення робочих характеристик композитних матеріалів; 2. Матеріали та методи досліджень; 3. Дослідження впливу параметрів процесу отримання композитних матеріалів на їх структуру і властивості; 4. Якісні характеристики матеріалів і властивостей при термічному впливі; 5. Характеристика процесу виготовлення; 6. Оцінка праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням об'ємів'язкових креслень)
 1. Хімічний склад використовуваних елементів; 2. Хімічна збірка процесу та сервісування розробного з'єднання; 3. Ефективність використання матеріалів системи; 4. Розподілення процесу виготовлення КМ з матрицею системи НБП; 5. Змінення властивості та структури композитного матеріалу НБУ-ВІР-0-ВР243ВІ при термообробці.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
Загальна частина	Вініченко В.Р.		
Економічна частина	Канд. тех. наук, доцент Крипнікова В.В.	 24.09.18	 14.12.18
Охорона праці	Нестеров О.В.		
Державний контроль	Канд. тех. наук, доцент Жилив В.В.		

7. Дата видачі завдання 20.09.2018

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Визначення підвешу робочих температур КМ.	02.10.18	
2.	Визначення та моделювання досліджень	21.10.18	
3.	Дослідження впливу параметрів процесу отримання композицій матеріалів на їх структуру і властивості.	06.11.18	
4.	Дослідження закономірності зміни структури і властивостей КМ при термічному впливі.	16.11.18	
5.	Характеристики різних матеріалів	26.11.18	
6.	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	04.12.18	

Студент

 Криворучко В.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

 Вініченко В.Р.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ : 94с., 12табл., 9 рис., 30 джерел

Об'єктом дослідженням були композиційні матеріали, призначені для соплових насадків, формування яких можливо з використанням методу контактного зварювання.

Метою дипломної роботи є дослідження і розробка композиційних матеріалів для деталей типу тонкостінних оболонок, експлуатованих в умовах високих температур (до 1600°C).

Предметом дослідження були властивості і структура композиційних матеріалів, що визначають максимальну робочу температуру насадків.

Методи дослідження:

1 дослідження ступеня використання міцності волокон в композиційному матеріалі проводили за розробленою методикою на зразках, зміцнених складовими волокнами;

2 вивчення впливу технологічних параметрів процесу формування на структуру і властивості композиційних матеріалів здійснювали методом планування багатофакторних експериментів;

3 для вивчення дифузійних процесів використовували рентгеноструктурний, мікрорентгеноспектральний і дюрOMETричний метод дослідження.

Дослідження проводили на кафедрі "Фізичного матеріалознавства" Запорізького національного технічного університету, в лабораторіях АО "Мотор Сич,"

КОМПОЗИЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ, ДЕФЕКТОСКОПІЯ, НІОБІЄВА-ТИТАНОВА МАТРИЦЯ, РЕНТГЕНОСТРУКТУРНИЙ МЕТОД.

ЗМІСТ

Завдання на проект	2
Реферат.....	4
Вступ.....	7
1 МОЖЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ РОБОЧИХ ТЕМПЕРАТУР КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	11
1.1 Загальні відомості про композиційні матеріали.....	11
1.2 Класифікація композиційних матеріалів.....	12
1.3 Огляд високотемпературних композиційних матеріалів.....	13
1.4 Можливості підвищення температури робочого газу з метою збільшення коефіцієнта корисної дії теплового двигуна	15
1.5 Сплави, які використовуються як матриці.....	16
1.6 Роль міжфазних фізико-хімічних реакцій в процесах зміцнення і знеміцнення матриць і волокон.....	18
1.7 Методи формування композиційних матеріалів.....	21
1.8 Можливості поліпшення властивостей вольфрамових волокон.....	27
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	31
2.1 Матеріали досліджень.....	31
2.2 Методика формування композиційних матеріалів.....	35
2.3 Методики виготовлення зразків з композиційних матеріалів, їх дефектоскопії і термічної обробки.....	36
2.4 Механічні випробування.....	39
2.5 Розробка методики для оцінки ступеня використання міцності волокон в високотемпературних композиційних матеріалах.....	40
2.6 Інші методи досліджень.....	46
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ЇХ СТРУКТУРУ І ВЛАСТИВОСТЬ.....	48
3.1 Оптимізація режимів формування композиційних матеріалів.....	48
3.2 Оптимізація режиму формування волокнистого композиційного матеріалу з шаруватою ніобій-титановою матрицею.....	50

3.3 Дослідження використання вихідних властивостей матриць і волокон в сформованих композиційних матеріалах.....	55
3.4 Вплив товщини титанового прошарку і термічних впливів на ступінь використання міцності волокон в композиційному матеріалі.....	56
4 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗМІНИ СТРУКТУРИ І ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ТЕРМІЧНОМУ ВІДПАЛІ.....	60
4.1 Дослідження процесів знеміцнення в композиційному матеріалі з шаруватою ніобієво-титановою матрицею.....	60
5 ХАРАКТЕРИСТИКА РИНКУ МАТЕРІАЛІВ, ЩО ДОСЛІДЖУЮТЬСЯ...	69
5.1 Ринок технологій – елемент світового ринку.....	69
5.2 Обґрунтування наукових досліджень.....	70
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НЕБЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.	79
6.1 Аналіз потенційних небезпек.....	79
6.2 Заходи забезпечення техніки безпеки.....	80
6.3 Заходи забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці.....	84
6.4 Заходи з пожежної безпеки.....	86
6.5 Заходи із забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	89
Висновки.....	93
Перелік посилань.....	94

ВСТУП

У виробництві високотемпературних матеріалів багато в чому визначає розвиток теплових двигунів. На сьогоднішній день час економічність даних двигунів визначається максимальною робочою температурою існуючих конструкційних матеріалів. Оскільки підвищення робочих температур цих матеріалів є одним з найбільш перспективних напрямків актуального матеріалознавства. Доказом сказаного можуть служити дослідження, спрямовані на виробництво матеріалів, здатних витримувати температури близько до 1600°C . Вже згдана проблема актуальна настільки, що для її вирішення вже досліджують можливість застосування сплавів на основі рідкісних, дорогих металів як, наприклад, іридій і родій. Подібні сплави зможуть забезпечити потрібні технічні запити конструкторів, але ціна такого рішення буде не завжди виправдана.

Сплави на нікелевій основі, як правило, вимагає збільшення вмісту в їх складі тугоплавких легувальних елементів, що часто призводить до зниження інших характеристик: жаростійкості, пластичності. Підвищити робочу температуру даних сплавів стає можливим при зміцненні їх в найбільш навантажених напрямках волокнами зі сплавів тугоплавких металів. Так, наприклад, в конструкції двигунів є деталі (насадки соплових блоків), у яких напруги розтягнення в поздовжньому перетині, вдвічі перевищують напруги розтягнення в поперечному перерізі. Тому такі деталі рекомендовано виготовляти з анізотропних матеріалів, до яких, зокрема, відносяться композиційні матеріали.

Актуальність роботи. В роботі, наведені потенційні можливості композиційних матеріалів. Характеристики цих матеріалів істотно перевищують показники традиційних сплавів, застосовуваних у тих же областях техніки. Використання композиційних матеріалів дозволяє застосувати більш сприятливі в економічному відношенні процеси

виготовлення деталей і знизити масу конструкцій [1].

Однак, для з'єднання тугоплавких складових (матриці і волокон) високотемпературних композиційних матеріалів необхідні значення тиску і температури, що вимагає застосування унікального обладнання, яке відсутнє в Україні. У даній ситуації, що склалася перспективним може бути метод який розробили в ЗНТУ, це формування композиційних матеріалів за допомогою контактного шовного зварювання [2]. Причинами, обмеженнями застосування такого методу в промисловості, є відсутність досліджень закономірностей впливу технологічних параметрів на властивості і структуру композиційних матеріалів з матрицями на основі тугоплавких металів. Крім того є питання які недостатньо вивчені закономірності зміни властивостей зазначених матеріалів в умовах циклічного змінення температур. Також, недостатньо вивчено вплив ступеня взаємодії між матрицею і волокнами на повноту використання власної міцності волокон в композиційних матеріалах, сформованих даним методом. Вище перераховані питання, в ряді випадків, не дозволяють раціонально вибрати режими формування композиційних матеріалів і сплави складових. Актуальним завданням є розробка та дослідження композиційних матеріалів формування яких ймовірно з використанням методу контактного зварювання.

Мета і завдання дослідження даної роботи. Метою дипломної роботи є дослідження і розробка композиційних матеріалів для деталей типу тонкостінних оболонок, експлуатованих в умовах високих температур (до 1600°C).

Для цього було необхідно:

- проаналізувати властивості сплавів і вибрати перспективні для складових (матриць і волокон) композиційних матеріалів, формування яких можливо з використанням методу контактного зварювання;
- розробити рекомендації щодо вибору складових і режимів отримання високотемпературних композиційних матеріалів, формування яких можливо з використанням методу контактного зварювання, для тонкостінних оболонок,

експлуатованих при високих температурах (до 1600 ° C)

- визначити раціональні режими формування композиційних матеріалів з обраних складових методом контактного зварювання;

Об'єкт дослідження. Композиційні матеріали, призначені для соплових насадків, формування яких можливо з використанням методу контактного зварювання.

Предметом дослідження були властивості і структура композиційних матеріалів, що визначають максимальну робочу температуру насадків.

Методи дослідження. З метою встановлення закономірностей зміни властивості і структури розробляються композиційних матеріалів при термічних впливах, використані наступні методи:

1 дослідження ступеня використання міцності волокон в композиційному матеріалі проводили за розробленою методикою на зразках, зміцнених складовими волокнами;

2 вивчення впливу технологічних параметрів процесу формування на структуру і властивості композиційних матеріалів здійснювали методом планування багатофакторних експериментів;

3 для вивчення дифузійних процесів використовували рентгеноструктурний, мікрорентгеноспектральний і дюрOMETричний метод дослідження.

Дослідження проводили на кафедрі "Фізичного матеріалознавства" Запорізького національного технічного університету, в лабораторіях АО "Мотор Сич,"

Наукова новизна отриманих результатів.

Вивчено поведінку вольфрамо-ренієвих волокон в шаруватій ніобій-титановій матриці і в матрицях, в результаті чого: показано, що ступінь зниження міцності композиційного матеріалу з шаруватою ніобієвою-титановою матрицею і вольфрамо-ренієвими волокнами при високих температурах змінюється непропорційно міцності матриці як адитивної частці міцності композиційного матеріалу. В умовах випробування міцність

композиційного матеріалу з ніобієвими складовими зі сплаву НбПЛ знижується більш ніж в 2 рази, а композиційного матеріалу з ніобієвими складовими зі сплаву НбЦУ - всього в 1,2 рази відносно вихідного рівня. Така різниця в зниженні міцності композиційних матеріалів пояснена більш низьким вмістом вуглецю в сплаві НбПЛ в порівнянні зі сплавом НбЦУ.

Практичне значення отриманих результатів. Обґрунтовано доцільність застосування як матриць композиційних матеріалів, шаруватого ніобій-титанового матеріалу НбЦУ - ВТ1-0 (до 1560 ° С), а для їх зміцнення - волокон з вольфрамо-ренієвого сплаву ВР27ЗВП.

1 МОЖЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ РОБОЧИХ ТЕМПЕРАТУР КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

1.1 Загальні відомості про композиційні матеріали

Композиційний матеріал (КМ), або композит це штучно створений неоднорідний суцільний матеріал, що складається з двох або більше компонентів з чіткою межею поділу між ними і зі збереженням індивідуальності кожного окремого компонента. У більшості композитів (за винятком шаруватих) компоненти можна розділити на матрицю (або сполучний) - компонент, що володіє безперервністю по всьому об'єму, і включені в неї армувальні елементи (або наповнювачі) - компонент перерваний, розділений в обсязі композиції. Матричними матеріалами можуть бути метали і їх сплави, органічні та неорганічні полімери, кераміка та інші речовини. Підсилюють або армувальними компонентами найчастіше є тонкодисперсні порошкоподібні частинки або волокнисті матеріали різної природи. [3]

У композитах конструкційного призначення армувальні елементи зазвичай забезпечують необхідні механічні характеристики матеріалу (міцність, жорсткість та ін.), а матриця забезпечує спільну роботу армувальних елементів і захист їх від механічних пошкоджень і агресивного хімічного середовища.

Механічна поведінка визначається співвідношенням властивостей армувальних елементів і матриці, а також міцністю зв'язків між ними. В результаті поєднання матриці та армувальних елементів утворюється композиція, що володіє набором властивостей, що відображають не тільки вихідні характеристики його компонентів, але і включає нові властивості, якими ізольовані компоненти не володіють. Наявність границь розділу між армувальними елементами і матрицею істотно підвищує тріщиностійкість матеріалу, і в композиціях, на відміну від однорідних металів, підвищення

статичної міцності призводить не до зниження, а до підвищення характеристик в'язкості руйнування.

Для створення композиції використовуються найрізноманітніші армувальні наповнювачі та матриці. Матеріалознавці експериментують з метою створити більш зручні у виробництві, а значить і більш дешеві матеріали.

1.2. Класифікація композиційних матеріалів

Залежно від виду армувального компонента композити можуть бути розділені на дві основні групи: дисперсно-зміцнені і волокнисті, які відрізняються структурою, механізмами утворення високої міцності.

Дисперсно-зміцнені композити представляють собою матеріал, в матриці якого рівномірно розподілені дрібнодисперсні частинки другої речовини. У таких матеріалах при навантаженні всі навантаження сприймає матриця, в якій практично не розчиняються частинки другої фази створюється структура, ефективно чинит опір пластичної деформації.

У волокнистих композитах високоміцні волокна сприймають основні напруження, що виникають в композиції при дії зовнішніх навантажень, і забезпечують жорсткість і міцність композиції в напрямку орієнтації волокон.

1.3 Огляд високотемпературних композиційних матеріалів

Відповідно до загального положення для подальшого підвищення високотемпературної міцності матеріалів можна відзначити дві можливості: використання все більш тугоплавких компонентів, наприклад, і вдосконалення структури. Перспективним напрямком удосконалення структури високотемпературних матеріалів є створення в них орієнтованої волокнистої будови [4]. Розглянемо основні види і способи отримання високотемпературних матеріалів зі структурою.

1). Кераміка - матеріал, який володіє необхідними для широкого використання властивостями, але має істотний недолік - низьку тріщиностійкість, який вказує на їхню низьку термостійкість. Ведуться розробки, спрямовані на усунення цього недоліку, в тому числі шляхом армування кераміки волокнами. Відомі композиційні матеріали з вуглецевими волокнами і матрицями з карбідів ніобію і танталу. Згідно з даними робіт [5], такі матеріали можна виготовляти за допомогою звичайних методів порошкової металургії. Однак, незважаючи на певні успіхи в цій галузі, керамічні композиційні матеріали застосовують в основному як теплоізоляцію.

2). Інтерметаліди. Підвищений інтерес до сплавів на основі інтерметалідів викликаний їх високою жаростійкістю і малою щільністю. Композиційний матеріал з інтерметалідною матрицею NbAl_3 , зміцненої волокнами карбіду кремнію, при температурі 1000°C має питому міцність $0,16 \text{ МДж / кг}$, в той час як кращі нікелеві сплави - тільки $0,04 \text{ МДж / кг}$, згідно з даними роботи. Тим не менше, використання композиційних матеріалів на основі інтерметалідів (Ti_3Al ; Ti_2AlNb ; NiAl ; MoSi_2) крім недоліків, властивих в тій чи іншій мірі всіх композиційних матеріалів (взаємодія волокон з матрицею, пошкодження волокон при виготовленні

композиційних матеріалів), ускладнюється ще й крихкістю інтерметалідним матриця.

Зменшити крихкість інтерметалідних матеріалів шляхом з'єднання інтерметалідною фазою з пластичними металами ($\text{Nb}_3\text{Al-Nb}$; $\text{Cr}_2\text{Nb-Nb}$) намагалися деякі дослідники. Згідно з даними цієї роботи, шаруваті композиційні матеріали при температурі 1200°C мали межу міцності 131 МПа і відносне подовження 33% .

Пластичність інтерметалідів на основі нікелю можна збільшити металургійними способами [6], зміцненням волокнами або за допомогою легування їх В, Нf, Cr. Згідно з результатами роботи добавка $0,02\%$ бору в композиційний матеріал $\text{Ti}_3\text{Al} - \text{SiC}$ забезпечує йому більшу жароміцність при 1200°C , ніж у нікелевих сплавів. Існують технології одержання матеріалів на основі інтерметалідів не забезпечують їм достатню пластичність при звичайних температурах (20°C), що особливо важливо для тонкостінних деталей.

3). Волокнисті композиційні матеріали з металевою матрицею і неметалевими волокнами. Створення жароміцних композиційних матеріалів з металевою матрицею є перспективним напрямком матеріалознавства. Цій проблемі присвячено дуже багато робіт. Вивчено можливості армування нікелевих матриць волокнами у вигляді монокристалічних ниткоподібних кристалів Al_2O_3 [7, 8], безперервними монокристалічними волокнами Al_2O_3 , які отримуються з розплаву, вуглецевими волокнами і волокнами карбиду кремнію. Волокна з оксиду алюмінію, зокрема сапфірові, мають високі жароміцні властивості, але їх широке застосування стримується високою вартістю, а також канцерогенністю виявляється на стадії виготовлення деталей. Виходом з цієї ситуації могло б бути використання методу внутрішньої кристалізації, запропонованими Мілейко С.Т. і Казьмін В.І. [9, 10]. Саме цей метод заснований на кристалізації волокон з розплаву в обсязі матриці. Проте, він має кількох, невіршених технологічних питань, пов'язаних з високою в'язкістю розплавів оксидів.

4). Волокнисті композиційні матеріали з металевою матрицею і металевими волокнами. До теперішнього часу незважаючи на високу щільність вольфрамівих сплавів, досліджується можливість їх застосування для армування високотемпературних матеріалів. Позитивний ефект від застосування подібних композиційних матеріалів багато в чому залежить від типу сплавів, використовуваних як матриць і волокон, їх сумісності та технологій, що застосовуються для формування композиційних матеріалів.

5). Композити типу вуглець-вуглець. Вуглець-вуглецеві композиційні матеріали володіють багатьма позитивними властивостями, що пред'являються до жароміцних матеріалів. Міцність і жорсткість подібних композиційних матеріалів в основному визначається міцністю і жорсткістю волокон [11]. Відхилення прогнозованих (розрахункових) властивостей від експериментальних даних композиційних матеріалів, пов'язане з розкидом механічних характеристик їх волокон. Вони можуть довго працювати в відновлювальних середовищах при температурі близько 3000 °С. Ці матеріали в 4-6 разів міцніше кращих марок графіту при більш низькій щільності, ніж у металів і кераміки. Тим не менше в окислювальних середовищах, композиційні вуглець-вуглецеві матеріали стійкі тільки при відносно невисоких температурах, і тому їх можна використовувати лише для короткочасної роботи в абляційним режимі.

1.4 Можливості підвищення температури робочого газу з метою збільшення коефіцієнта корисної дії теплового двигуна

Відповідно до принципу термодинаміки економічність роботи теплового двигуна багато в чому визначається максимальною температурою робочого циклу. На сьогоднішній день її значення обмежене не стільки можливостями палива, скільки температурою, яке витримується наявними в

розпорядженні конструкторів матеріалами. Ця обставина призводить до необхідності використання для зниження температури нагріваючих деталей різними способами примусового охолодження. Однак, використання примусового охолодження деталей, поряд з відчутним підвищенням коефіцієнта корисної дії, призводить до збільшення маси двигуна і ускладнення технології його виготовлення, а також обмежує використання перспективних видів палива, які в силу їх природи неможливо прокачувати по каналах системи охолодження.

Іншим напрямком підвищення максимальної температури робочого газу є створення високотемпературних композиційних матеріалів з більш високою температурою експлуатації. Згідно з даними підприємства, знизити вагу соплового блоку можна шляхом заміни частини охолоджуючим паливом сопла тонкостінних насадків радіаційного охолодження (насадка охолоджується за рахунок випромінювання). Замінити частину сопла, яка нагрівається до 1600°C , можна насадкою виготовленим з композиційного матеріалу з вихідною міцністю $\sigma_b = 80 - 100 \text{ МПа}$ при температурі 1300°C .

Пропонований час роботи насадки від $15 \cdot 10^3$ до $30 \cdot 10^3$ с при 50 термоциклах.

Для виготовлення насадки, бажано використовувати композиційний матеріал з матрицею з ніобієвого сплаву і вольфрамо-ренієвими волокнами, яким можна було б замінити частину сопла, розташовану ближче до камери згоряння і працює при більш високих температурах, згідно з даними підприємства.

1.5 Сплави, які використовуються як матриці

Займаючись розробкою сплаву для матриці композиційного матеріалу з робочою температурою 1100°C , автори роботи [12], провели порівняльні

дослідження жароміцних сплавів ХН67МВТЮ, ХН70Ю, Х20Н80 і НВ30. Кращі результати з високотемпературної міцності були отримані для композиційного матеріалу з матрицею зі сплаву ХН67МВТЮ.

Порівняльні дослідження композиційних матеріалів з матрицями з нікелевих сплавів EI435, EK64, ВЖ98 та сталі марки 12Х18Н10Т армованих вольфрамовими волокнами наведені в роботі. При цьому показано, що відпал композиційних матеріалів призводить до утворення інтерметалідного шару на граничних поверхнях між волокнами і матрицею. У композиційних матеріалів з матрицями з розглянутих жароміцних сплавів, товщина інтерметалідного шару становить близько 8,6 мкм, а у композиційного матеріалу з матрицею зі сталі марки 12Х18Н10Т досягає 220 мкм. Глибина окисленої зони на поверхні зразків була найбільшою (250 - 300 мкм) також у композиційного матеріалу зі сталеву (марки 12Х18Н10Т) матрицею. Найменша глибина окисленої зони зафіксована у зразків композиційного матеріалу з матрицею EI435

Процеси повзучості матричних сплавів подібних композиційних матеріалів вивчені авторами роботи [12]. Вони відзначають, що затримати розвиток процесів повзучості можна шляхом мікролегування нікелевих і залізних матриць невеликими кількостями церію і лантану. Такий результат автори пояснюють тим, що дислокаційні кордони, створені в матриці з добавками церію і лантану, здатні зменшити швидкість повзучості матричних сплавів в умовах підвищених температур.

Відомі композиційні матеріали з матрицями на основі хрому, ніобію, цирконію, також вивчено застосування як матриці композиційного матеріалу хромового сплаву ВХ2У. Композиційний матеріал, що містить 30% об. волокон з жароміцного вольфрамового сплаву, має $\sigma_{\text{в}}$ при температурі 1200 °С 900 МПа, а $\sigma_{100}^{1200} = 180 \text{ МПа}, - 200 \text{ МПа}$.

Зразки цього композиційного матеріалу витримують до руйнування 270 - 480 термоциклів в інтервалі температур 100 - 1200 ° С, що дуже важливо, оскільки більшість енергетичних установок працюють з циклічною зміною

температури під час пусків і зупинок.

В якості матриці волокнистого композиційного матеріалу хороші результати при випробуванні механічних властивостей показав ніобій. Так, при об'ємному вмісті армувальних волокон зі сплаву ВР273ВП рівному 24%, композиційний матеріал з матрицею на основі ніобію має таку ж питому міцність, як і композиційні матеріали з матрицями з жароміцних сплавів на нікелевій основі, але містять 70% об. волокон з вольфрамоторієвого сплаву ВТ2. Застосування подібних композиційних матеріалів часто обмежена високою вартістю їх виготовлення, яка обумовлена як технологічними труднощами, так і значними енергетичними затратами, необхідними для з'єднання тугоплавких компонентів.

Переваги матимуть різні матричні сплави в залежності від конкретних вимог, що пред'являються до композиційних матеріалів (максимальна високотемпературна міцність, мінімальна швидкість розчинення волокон або мінімальна швидкість окислення).

1.6 Роль міжфазних фізико-хімічних реакцій в процесах зміцнення і знеміцнення матриць і волокон

Відомо, [13] що властивості композиційних матеріалів визначаються не тільки властивостями матриць і волокон, а й міцністю їх сполуки. При цьому міцність волокон в композиційному матеріалі реалізується повністю лише тоді, коли міцність з'єднання волокон з матрицею дорівнює або перевищує їх власну міцність. У свою чергу, міцність з'єднання волокон з матрицею багато в чому залежить від ступеня їх взаємодії між собою. З одного боку, зі збільшенням ступеня проходження міжфазних реакцій підвищується міцність з'єднання компонентів композиційного матеріалу, з іншого боку, як правило, погіршуються властивості волокон внаслідок їх

крихкості, викликаного рекристалізацією, виборчим руйнуванням кордонів зерен або утворенням тендітних інтерметалідних з'єднань.

Встановлено, що сповільнити потоншення вольфрамових волокон обумовленим їх розчиненням в матричному металі можна шляхом зменшення відмінності в хімічних потенціалах елемента матеріалу волокна (вольфраму) в волокні і цього ж елемента в матриці. Реалізувати зазначену умову можна легуванням матриці елементом волокна (вольфрамом) до межі його розчинності в матричному металі. Як приклад такого рішення автори наводять композиційний матеріал з матрицею зі сплаву ВЖ98 і вольфрамовими волокнами. Встановлено, що розчинення вольфрамових волокон в процесі високотемпературного відпалу відбувалося в матрицях EI435, EK64, X18H10T, і майже не було помічено в сплаві ВЖ98. Проте, підвищити високотемпературну стабільність композиційного матеріалу цим способом можна тільки в тому випадку, якщо волокно і матриця утворюють обмежені тверді розчини [13].

В роботі показана можливість попередження розвитку процесів, що призводять до утворення тендітних інтерметалідних прошарків, і збиральної рекристалізації в поверхневому шарі вольфраму волокон шляхом легування зони взаємодії порошками з інгредієнтами, які призводять до утворення складної проміжної евтектики. Встановлено, що при легуванні кордонів між складовими композиційного матеріалу з ніхромового або фехральових матрицями порошками, що містять тантал, вуглець, кремній, марганець, титан і ніобій, дійсно утворюється проміжна евтектика. На думку авторів, це призводить до того, що тріщини, які зароджуються в тендітній фазі евтектики, не досягають критичної довжини і тому не можуть привести до швидкого руйнування деталі.

Показано перспективність застосування захисного шару Y_2O_3 товщиною 1-3мкм для збереження властивостей борних і карбідокремнієвих волокон в металевих або керамічних матрицях.

Однак чим сильніше сповільнюється фізико-хімічна взаємодія

складових композиційного матеріалу, тим важче отримати необхідний рівень міцності зв'язку між його фазовими компонентами. Вирішити задачу шляхом додавання в матричний сплав активних легуючих елементів вдається далеко не завжди. У деяких випадках позитивні результати дає застосування двошарових покриттів. При цьому один шар захищає волокна від дії матричного сплаву, а другий - покращує змочування.

Ступінь проходження реакцій взаємодії між компонентами композиційного матеріалу в значній мірі залежить від значень технологічних чинників процесу формування: температури, тиску і часу. Підвищення значень цих факторів сприяє не тільки підвищенню міцності зв'язку між фазовими складовими, але може привести і до знеміцнення волокон. Тому, режим формування композиційного матеріалу повинен забезпечити виникнення міцних адгезійних зв'язків між фазовими компонентами без їх значного хімічної взаємодії, що приводить до небажаного падіння міцності волокон і, відповідно, композиційного матеріалу в цілому.

Фізико-хімічна взаємодія між фазовими складовими з утворенням інтерметалідів на кордоні їх розділу в композиційному матеріалі з матрицею з йодідного цирконію і волокнами з вольфраму і молібдену експериментальними методами досліджували автори роботи [14]. Зразки для досліджень формували дифузійним зварюванням чергують шарів фольги і волокон в вакуумі. В результаті проведених експериментів вони встановили, що на кордоні розділу матриця - волокно після відпалу при температурах 950 і 1100 ° С утворювалися інтерметаліди ZrW_2 и $ZrMo_2$.

Проводилися дослідження взаємодії матриці зі сплаву HT50 (50% мас. ніобію і 50% мас. титану) і волокон з вольфрамо-ренієві сплаву марки BP273ВП. В роботі При температурі відпалу вище 900 °С відбувається взаємне розчинення складових дослідженого композиційного матеріалу. В результаті утворюється двохзонний дифузійний прошарок. Внутрішня - за рахунок дифузії ніобію і титану в волокно, а зовнішня зона прошарку формується за рахунок дифузії вольфраму і ренію в матрицю. Ці зони

являють собою твердий розчин. Автори на підставі цих досліджень прийшли до висновку, що утворюється при відпалі зона твердих розчинів відносно слабо може впливати на властивості волокон.

Зниження міцності композиційного матеріалу системи Ni - W, обумовлене взаємодією волокон з матрицею. Зразки для дослідження відпалювали при температурах 1350 - 1600 ° C протягом різного часу (від 0,25 до 5 годин). Потім досліджували їх мікроструктуру, перерозподіл компонентів і розчинність нікелю в волокні (за результатами зміни параметра решітки твердого розчину). Було встановлено, що в процесі відпалу (1350 °C, 2 години) вміст нікелю в поверхневому шарі волокон товщиною 2 - 3 мкм підвищується до 0,05% ат. Це призводить до зниження температури плавлення вольфраму і може ініціювати його рекристалізацію при 1350°C. Вивчивши кінетику реакцій взаємодії між складовими композиційного матеріалу, можна приймати рішення при виборі технологічних режимів формування цього матеріалу.

1.7 Методи формування композиційних матеріалів

Формування композиційних матеріалів з металевими матрицями і волокнами здійснюють: методами порошкової металургії, ливарними методами, гарячим пресуванням, динамічним гарячим пресуванням, за допомогою контактної шовного зварювання.

Метод порошкової металургії. Використання при отриманні композиційних матеріалів методів порошкової металургії дозволило знизити максимальну температуру процесу формування, що призвело до зниження швидкості дифузії і, відповідно, до зменшення інтенсивності міжфазних фізико-хімічних реакцій. Перспективним напрямком в технології одержання композиційних матеріалів за допомогою порошкових методів є механічне

легування. При цьому методі спочатку виробляють подрібнення складових. Потім екструзією заготовки орієнтують пластинчасті або волокнисті частинки в одному напрямку. В результаті отримують композиційний матеріал з вельми високими механічними властивостями.

Завдяки структурним особливостям, продукти порошкової металургії більш термостійкі, краще переносять циклічні перепади температур і напружень деформації, а також радіоактивного випромінювання.

Однак порошкова металургія має і недоліки, що стримують її розвиток: порівняно висока вартість металевих порошків, необхідність спікання в захисній атмосфері, що також збільшує собівартість виробів порошкової металургії, неможливість виготовлення в деяких випадках заготовок великих розмірів, необхідність використання чистих вихідних порошків для отримання чистих металів.

Метод лиття. Виготовлення композиційних матеріалів методами лиття дозволяє отримати деталі різної форми без особливої механічної обробки і використовувати поширене ливарне обладнання. Для їх виробництва відзначено перспективність застосування методу відцентрового лиття. Тим не менше, використання зазначених методів у багатьох випадках обмежена високою реакційною здатністю волокон в контакті з розплавами матричних сплавів.

Загальним недоліком ливарних методів є те, що при їх реалізації досить важко підібрати і витримати умови, при яких відбувалася би бездефектне просочення, і при цьому не розчинялися армувальні волокна в розплавленому металі матриці. Отримання вуглеалюмінієвого композиційного матеріалу подібним методом можливо тільки при точному контролі технологічних параметрів. Особливо гостро вказаний недолік проявляється при використанні матричних матеріалів з відносно високою температурою плавлення. Наприклад, просочують арматуру розплави нікелевих сплавів розчиняють значні периферійні шари волокон, або і збиральну рекристалізацію. Це призводить до погіршення механічних властивостей

композиційного матеріалу. Матричний матеріал, отриманий ливарними методами, як правило, має більш низьку пластичність у порівнянні з деформованим матеріалом. З цих причин ливарні методи, ймовірно, складно застосувати для виготовлення тонкостінних оболонок.

Метод гарячого пресування. Щоб уникнути вищезгаданих неприємностей, замість порошку використовується матричний матеріал у вигляді фольги, а для з'єднання їх з волокнами застосували метод гарячого пресування. Цей метод характеризується простотою технологічного обладнання, відносно невисокими температурами, незначними деформаціями матриці і волокон. Гаряче пресування для отримання матеріалу з певною щільністю вимагає значно більш низьких тисків і температур, ніж пресування з подальшим спіканням. Це дозволяє краще зберегти властивості волокон, а також запобігти руйнуванню тендітних волокон в процесі формування композиційного матеріалу. Найбільш суттєвою причиною, що обмежує використання зазначеного методу, є трудомісткість вибору і підтримки на заданому рівні значень технологічних параметрів. До недоліків цього методу також слід віднести те, що при його використанні для виготовлення тонкостінних оболонок можлива зміна кривизни їх зовнішньої поверхні.

Динамічне гаряче пресування. Особливі переваги методу гарячого пресування проявляються при використанні динамічного гарячого пресування. Час нагріву при виготовленні композиційного матеріалу цим методом становить кілька хвилин, а ударну дію здійснюється протягом декількох часток секунди. Це дозволяє уникнути знеміцнення волокон. Однак при короткому часі процесу вельми складно підтримувати інші параметри формування на оптимальному рівні і відповідно отримати задану міцність зв'язку між фазовими компонентами композиційного матеріалу.

Рішення задачі формування композиційного матеріалу з використанням фольги. Для отримання композиційного матеріалу цим методом збирали заготовки, що складаються з необхідної кількості попередньо очищених, що чергуються листів матриці і сіток з

односпрямованих зміцнюючих волокон, скріплених більш тонкими дротами з матричного сплаву. Отриманий пакет зварювали по всій поверхні на машині контактного шовного зварювання накладенням паралельних швів, що перекривають один одного по ширині.

Процес формування композиційного матеріалу описаним способом, з використанням вакуумованих пакетів, відкритих пакетів, заповнених аргоном, досліджено в роботі [15]. Зварювання всіх зазначених типів пакетів забезпечує просочення волокон розплавленим матеріалом матриці без помітної різниці в мікроструктурі одержуваних композиційних матеріалів, цього висновку дійшов автор у своїй роботі. Дійсно, при короткому часу нагрівання, до температури плавлення матричного сплаву (до 1700°C), тонку окисну плівку на вольфрамових волокнах в мікроструктурі композиційного матеріалу помітити досить складно, оскільки вона змивається розплавленим матричних розплавом. При нагріві волокон з більшості марок вольфрамових сплавів як у вакуумі, так і на повітрі до температур порядку до 1700°C , вони стають крихкими. Тому ймовірно, не має сенсу захищати зварюваний пакет від окислення.

Вплив технологічних параметрів методу контактного шовного зварювання на структуру і властивості композиційного матеріалу з матрицею з жароміцного сплаву EI435, армованого вольфрамовими волокнами. При цьому встановлено, що для формування композиційного матеріалу з матрицею зі сплаву EI435 (листи товщиною 0,4 мм) і волокнами з вольфрамо-рінеєвого сплаву VT15 (діаметром 0,5 мм) раціонально застосовувати роликові електроди шириною 8 мм. Також, зусилля стиснення електродів можна визначити, досліджуючи залежність електроопору нерухомого холодного контакту зварюваних заготовок в перехідних зонах електрод - деталь і деталь - деталь.

Згідно з отриманими результатами рекомендується вибирати таке зусилля стиснення електродів, яке призводить до стабілізації даних перехідних опорів. При формуванні зазначеного композиційного матеріалу

воно виявилось рівним 6,8 кН.

У роботі [16] говориться про дослідженні впливу короточасного нагріву, що моделює процес контактного зварювання композиційного матеріалу, на структуру і властивості молібденових, вольфрамових і вольфрамо-ренієвих дротів. Показано, що не схильні до прояву крихкості після швидкісного нагріву холоднодеформованого дроту із сплавів МР473ВП і ВР273ВП, що містять реній. Відзначається, що зберігають вихідну міцність після нагріву волокна зі сплавів ВМГА, ВТ-7, ВТ-15.

При цьому, для того, щоб зменшити до мінімального значення знеміцнення волокон, формувати композиційний матеріал рекомендується тепловими імпульсами тривалістю 0,2 - 0,32 с. Це питання не являється повністю вирішеним. Так, для контактного зварювання фольги зі сплавів більш тугоплавких і міцніших при високих температурах, необхідно застосовувати імпульси меншою тривалості.

Вибір матеріалу фіксуючих волокон, використовуваних для переплетення основних волокон при виготовленні армувальних сіток, приведено авторами роботи [17]. У зазначеній роботі досліджували можливість застосування для скріплення зміцнюючих вольфрамових волокон діаметром 0,3 мм фіксують волокна діаметром 0,1 мм з молібдену і нікелевих сплавів Х20Н80, Х15Н60. Для проведення досліджень отримували зразки композиційних матеріалів з матрицями з жароміцних сплавів марок ВЖ98, ЕІ435, ЕК64 і стали марки 12Х18Н10Т. Досліджували структуру композиційних матеріалів після відпалу при температурі 1350 ° С протягом 9 годин. В результаті встановлено, що застосування фіксуючих молібденових волокон викликало помітні структурні зміни в композиційних матеріалах з матрицями зі сплавів ВЖ98 і 12Х18Н10Т. Нагрівання зразків з композиційних матеріалів із зазначеними матрицями приводилися до майже повного розчинення фіксуючих молібденових дротів. Підвищення, в результаті цього, концентрації молібдену в матриці викликало зароджену легкоплавку евтектику з підвищеною щодо матриці мікротвердості, що може

привести як зниження граничної температури експлуатації, так і до зниження пластичності композиційного матеріалу.

Підвищення концентрації молібдену в матриці зі сталі марки 12X18H10T викликало зростання в ній кількості δ - фериту, що також, на думку авторів, може негативно позначатися на властивостях композиційного матеріалу. В композиційних матеріалах з матрицями із зазначених сплавів найдоцільніше використовувати фіксуєчий дріт з нікелевого сплаву.

Як параметр оптимізації використовували електропровідність, чисельні значення якої залежать від кількості дефектів в структурі сформованого композиційного матеріалу. Факторами що варіювали були наступні параметри: тривалість імпульсу зварювального струму, тривалість паузи, зусилля стиснення роликів електродів, швидкість зварювання, зміщення подальшого зварного шва щодо попереднього. В результаті проведених багатофакторних експериментів були встановлені оптимальні режими формування композиційного матеріалу, що забезпечують збереження початкової міцності його волокон.

Метод контактного шовного зварювання дозволяє виготовляти композиційний матеріал у вигляді заготовок тонкостінних деталей з допомогою широко розповсюдженого обладнання (машини контактного зварювання). У цих роботах повідомляється про використання даного методу формування композиційного матеріалу при армуванні вольфрамового дроту марки ВТ10 ділянки обічайки, що нагрівається до максимальної температури, жарової труби камери згоряння авіаційного газотурбінного двигуна.

Важливою є інформація про можливість надавати необхідний профіль деталям з композиційного матеріалу методом розкочування, оскільки ця технологічна операція здійсненна на поширеному обладнанні. Так само відомо про застосування описаного вище способу формування композиційного матеріалу для виготовлення великогабаритних тонкостінних оболонок. Результати свідчать про те, що спосіб контактного шовного зварювання дозволяє виготовляти тонкостінні великогабаритні деталі на

поширеному обладнанні.

Проте, впровадження в промисловості зазначеного способу для виготовлення деталей типу тонкостінних оболонок з композиційних матеріалів з більш міцними при високих температурах матрицями вимагає експериментального уточнення технологічних режимів, а так само рішення інших стандартних питань, що виникають при розробці композиційних матеріалів.

1.8 Можливості поліпшення властивостей вольфрамових волокон

Найбільш часто для армування високотемпературних композиційних матеріалів застосовують дріт з вольфраму і його сплавів. Існує багато робіт, спрямованих як на збільшення міцності такого типу волокон при підвищених температурах, так і поліпшення їх технологічних властивостей. Це обумовлено тим, що вони випускаються промисловістю в достатніх кількостях і не дорогі щодо інших типів волокон. Оскільки в даному випадку виготовлення тонкостінних оболонок припускали здійснювати з використанням методів обробки тиском, був проведений огляд результатів робіт, спрямованих на підвищення не тільки високотемпературної міцності вольфрамових сплавів, а й їх технологічної пластичності.

В роботі [18] автори вивчали вплив термообробки зі швидкісним електричним нагрівом на структуру і властивості металокерамічного вольфраму.

У роботі були зроблені висновки про те, що відпал при температурі 1765°C підвищує відносне подовження зазначеного матеріалу з 2,5% до 14% при звичайній (20°) температурі, але міцність при цьому знижується з 910 до 410МПа. Підвищення температури відпалу вище зазначеної, призводить до зниження пластичності металокерамічного вольфраму. Можна розраховувати

на істотне збільшення їх пластичності, якщо реалізувати умови нагріву вольфрамових волокон в процесі формування композиційного матеріалу. Однак, при цьому слід також враховувати значне зниження початкової міцності, що є небажаним.

Наявність окислів ThO_2 і ZrO_2 в складі вольфрамових сплавів підвищує температуру рекристалізації і подрібнює їх зерно при спіканні і прокатці. При цьому з підвищенням вмісту оксидів в вольфрамових сплавах до 8% об. безперервно знижується температура переходу в крихкий стан зазначених сплавів, як після відпалу 1300°C , так і після рекристалізації при 1800°C . Не дивлячись на ці позитивні ефекти, необхідно враховувати, що оксиди ThO_2 і ZrO_2 за своєю природою є неметалевими включеннями і підвищення їх змісту часто збільшує схильність вольфрамових сплавів до розшарування.

Зрозуміло, що при використанні для зміцнення композиційного матеріалу легко розшаровується або розшарування вольфрамового дроту буде знижувати його міцність в напрямках, незбіжних з напрямком зміцнюючих волокон. Руйнування композиційного матеріалу, при розтягуванні його під кутом в 45° по відношенню до зміцнюючих волокон може відбуватися з їх розшарування. При цьому, чим більшу площу в перерізі зразка займає розшарування волокна, тим меншою міцністю буде володіти композиційний матеріал в зазначених напрямках.

Незважаючи на велику кількість наукових розробок, дроту з вольфрамо-торієвих сплавів, що випускаються в даний час промисловістю, не володіють достатньою міцністю в поперечному напрямку (схильні до розшарування) і тому не можуть бути використані для армування деталей типу насадків.

Корисний вплив на властивості вольфраму чинить реній. При додаванні 26% ренію в вольфрамовий сплав технічної чистоти одночасно збільшується його міцність при підвищених температурах і пластичність при звичайній (20°C) температурі після рекристалізаційного відпалу. Це

дозволяє виготовляти дріт не схильний до розшарування, без технологічних труднощів, властивих процесу виготовлення дроту з вольфрамівих сплавів, нелегованих ренієм.

На сьогоднішній день, промисловістю виробляється з вольфраморенієвих сплавів дріт марки ВР273ВП (ТУ 48-19-190-82), він є перспективою для використання як зміцнюючих волокон в високотемпературних композиційних матеріалах.

Висновки і мета досліджень

З наведених робіт у цьому огляді, бачимо, що дослідження, проведені до теперішнього часу, не привели до широкого використання високотемпературних композиційних матеріалів.

Незважаючи на велику кількість вирішених питань, що стосуються створення композиційних матеріалів, отримання з них тонкостінних оболонок на сьогоднішній день пов'язаними з використанням як матриць жароміцних сплавів з високою концентрацією вольфраму. Не достатньо, для впровадження у виробництво, досліджена можливість формування композиційних матеріалів з матрицями на основі тугоплавких металів методом контактного зварювання. Слід враховувати, що в зв'язку з термодинамічної нестабільністю більшості композиційних систем, заміна, наприклад, (одних матричних сплавів іншими,) може привести до непередбачуваних змін кінетики взаємодії між складовими композиційного матеріалу. У подібних випадках, необхідна експериментальна перевірка.

Завданням дипломної роботи входило:

- оптимізувати технологічні режими виготовлення композиційних матеріалів з досліджуваними типами матриць методом контактного зварювання;
- дослідити структуру і властивості розроблених

високотемпературних композиційних матеріалів безпосередньо після їх виготовлення і після термічних циклічно повторюваних впливів, подібних експлуатаційним нагріву;

- дослідити доцільність застосування сплавів на основі тугоплавких металів і в якості матриць композиційних матеріалів, призначених для виготовлення радіаційно-охолоджуваних насадків;

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Композиційні матеріали необхідно розробляти з урахуванням характеру особливостей технології виготовлення конкретних деталей та розподілу напружень. Виділення композиційного матеріалу в окремий об'єкт дослідження може полегшити вирішення загального завдання створення композиційного матеріалу для виготовлення конкретної деталі.

Дослідження структури і властивостей власне композиційного матеріалу дозволяють обґрунтовано вибрати складові і оптимізувати технологічні процеси виготовлення деталей. Щоб отримати практичний результат в реальні терміни, важливо, щоб сплави складових композиційного матеріалу випускалися промисловістю з дотриманням необхідних вимог до структури, хімічного складу, розмірам з вузьким полем допусків, а технологію виготовлення деталей можна було б реалізувати в умовах, що склалися.

Керуючись цими принципами, обирати складові композиційних матеріалів, методики досліджень та технологію виготовлення конкретних деталей - соплових насадків.

2.1 Матеріали досліджень

Армувальні волокна у волокнистих високотемпературних композиційних матеріалах повинні мати високу міцність, модулем пружності і хорошу сумісність з матеріалом матриці при високих температурах. З відомих видів волокон для армування високотемпературних матеріалів в достатній кількості випускаються волокна з SiC і дроту з вольфрамових і молібденових сплавів.

Волокна з SiC мають хороші характеристики при температурах до 1350°C. Але швидке розчинення цих волокон в матрицях не дозволяє економічно реалізувати їх властивості при зазначених температурах. Крихкість таких волокон обумовлює крихкість композиційного матеріалу в цілому, що є неприйнятним при наявності в технології виготовлення деталей операцій, які передбачають пластичну деформацію заготовок. Вельми складно виготовити тонкостінну великогабаритну деталь з необхідними допусками на розміри без таких операцій, як штампування, розкочування або калібрування. В такому випадку ця обставина не дозволяє використовувати волокна SiC.

Матеріали, які найбільшою міцністю при високих температурах володіють вольфрамовими і молібденовими сплавами мають недостатню пластичність. Як згадувалося вище (розділ 1), волокна зі сплавів МЧ, ВМЗП і ВА розміщуються при імпульсному нагріву, подібним нагріву, які застосовуються в процесі формування композиційного матеріалу методом контактного зварювання, що ускладнює їх використання.

Зменшення тривалості зварювальних імпульсів, як рекомендується в таких випадках [19], може привести до зменшення міцності волокон, а, отже, і композиційного матеріалу в цілому. Продукція, що випускає дріт зазначених марок має низьку міцність в поперечному напрямку, тобто легко розшаровується. Це може призводити до помітного зниження міцності при навантаженні композиційного матеріалу в напрямках, не збігаються з напрямом волокон, що ускладнює застосування такого матеріалу для виготовлення деталей. Не схильні до окрихчення після швидкісних нагрівів дроту із сплавів ВР273ВП і МР473ВП

З вольфрамових сплавів з вмістом ренію випускаються промисловістю дроти, як правило, вони не схильні до розшарування, так як близькі до його граничної розчинності в вольфрамі (27% мас.), тому в якості матеріалів волокон був обраний сплав ВР273ВП, хімічний склад якого наведено в таблиці 2.1, властивості в таблиці 2.2

Таблиця 2.1- Хімічний склад матеріалу армувальних волокон

Марка сплаву	Вміст елементів, % (масс.)						
	W	Re	O ₂	N ₂	C	H ₂	Fe,Al,Mg,Ca, Cu,Zn,P,S,As разом
ВР273ВП	72,71	27,24	0,002	0,001	0,003	0,0001	0,022

Таблиця 2.2- Короткочасна міцність матеріалів волокон

Марка сплаву	Вигляд заготівлі	діаметр, мм	Межа міцності, МПа, при температурі, °C	
			1300	1560
ВР273ВП	насадка	0,3	680,5	529,4

Примітка. $\Delta\sigma_b = \pm 1,5$ МПа при ймовірності $P = 0,95$.

Призначення матриці композиційного матеріалу - рівномірний розподіл і передача зовнішнього навантаження на волокна. Вона також служить для захисту волокон від впливу зовнішнього середовища і збереження деталі заданої форми. Матеріал матриці повинен володіти необхідним мінімумом: жаростійкості, пластичності, міцності, мінімальної реакційною здатністю з матеріалом волокон при температурах експлуатації.

Розглянемо матеріали які можуть бути використані як матриці.

Сплави хрому мають гарну жаростійкість, більш високим, ніж нікель і кобальт модулем пружності (близько 300 ГПа), і більш низькою щільність

(7,2 г / см³). Але хром і його сплави після зварювання стають крихкими, що обмежує їх застосування для виготовлення даного типу деталей.

Використання молібдену, вольфраму і сплавів на їх основі так само обмежена крихкістю їх зварних швів.

Так само хорошою технологічністю, в тому числі і зварюваністю, мають сплави ванадію. Щодо невисокої температури плавлення (1900 ° C), а також того, що більшість тугоплавких легувальних елементів (вольфрам, тантал, ніобій) знижують цю характеристику, сплави ванадію можуть конкурувати з жароміцних сплавами на основі нікелю і ніобію тільки до температур 1000-1100 ° C.

Добрими властивостями володіє тантал: низький поріг хладноломкості навіть в рекристалізованому стані, висока температура плавлення. Він так само, не позбавлений недоліків, як висока щільність і вартість.

Для підвищення робочої температури жароміцних матеріалів (вище 1350 ° C) найбільш перспективне використання ніобію [20]. Він має відносно високу температуру плавлення (2468 ° C), хороші технологічні властивості, проводиться в достатніх кількостях промисловістю. Позитивним при використанні ніобію в якості матриці композиційного матеріалу з вольфрамовими волокнами, є і те, що добавки ніобію (0,2-0,3% мас.) підвищують жароміцність вольфраму (особливо ефективно в комплексі з добавками цирконію і вуглецю).

Дані відомості вказують на те що, в разі використання матриці сплавів ніобію, містять вуглець і цирконій, можна очікувати, що зазвичай відбувається в умовах високих температур дифузія атомів ніобію і присутнього в ньому вуглецю і цирконію, вольфрамові волокна буде сприяти зміцненню останніх. З урахуванням обставин, як матриць для більш високотемпературних композиційних матеріалів були випробувані деякі сплави ніобію: сплав НБЦУ, що містить вуглець і цирконій (таблиця 2.2), що позитивно впливають на високотемпературну міцність вольфраму і сплав НБПЛ, що володіє хорошою зварюваністю.

2.2 Методика формування композиційних матеріалів

Щоб отримати жароміцні листові композиційні матеріали недорогим способом з огляду на те, що обрані матричні складові можна з'єднувати контактним зварюванням. Цей метод має переваги рідкофазних процесів (формування композиційного матеріалу з частковим розплавленням матричних складових) і тако ж, дозволяє зберегти високу міцність волокон.

Як показали проведені експерименти, при зварюванні обраних сплавів ніобію на контактній шовній машині швидко зношуються контактні поверхні роликів електродів, що призводить до погіршення поверхні з'єднувального матричного матеріалу. Також складно витримати технологічні параметри процесу зварювання в межах, що забезпечують суцільну проплавлену зону навколо волокон, і при цьому видалити виплеск, що порушують герметичність зварного з'єднання. У таких випадках рекомендується використовувати зварювання-паяння. При такому з'єднанні компонентів проводиться попередній підігрів більш тугоплавкого металу і розплавлення тільки менш тугоплавкого припою. В цьому випадку паяні з'єднання з утворенням міжатомних зв'язків формується за рахунок змочування більш тугоплавких компонентів менш тугоплавкими.

В якості припою рекомендується використовувати сплави на основі титану для пайки ніобієвих сплавів. У разі пайки компонентів композиційного матеріалу з вольфрамо-ренієвими волокнами важливо відзначити, що титан в невеликих кількостях може позитивно впливати на показники технологічної пластичності вольфраму при звичайних температурах [21]. Для композиційного матеріалу з граничною температурою експлуатації вище 1350 ° С обрано такі фазові складові: зовнішні листи з ніобієвих сплавів, титановий прошарок і вольфрамо-ренієві волокна. Доброю сумісністю обраних складових, можуть служити результати досліджень композиційного матеріалу з матрицею з ніобій-титанового сплаву і

вольфрамо-ренієвими волокнами.

Вказаний композиційний матеріал володіє досить стабільними властивостями. Незважаючи на те, що при тривалих випробуваннях зразків з цього матеріалу (100 годин, при 1100 ° С) спостерігається перерозподіл хімічних елементів між його складовими (навколо зміцнюючих волокон утворюється прошарок, що містить ніобій, титан, реній і вольфрам), погіршення властивостей композиційного матеріалу в цілому не відбувається. Наведені факти припускають, що і в шаруватій ніобій титановій матриці також можуть бути реалізовані початкові властивості вольфрамо-ренієвих волокон. Армувальними волокнами у всіх випадках служив дріт з вольфрамо-ренієвого сплаву ВР273ВП. Формування композиційних матеріалів здійснювали методом контактного зварювання.

2.3 Методики виготовлення зразків з композиційних матеріалів, їх дефектоскопії і термічної обробки

Для отримання композиційного матеріалу з шаруватою ніобій-титановою матрицею попередньо збирали пакет, (рисунк 2.1) складається з очищених наждачним папером (з розміром зерна М63), знежирених ацетоном і спиртом ніобієвих листів товщиною 0,5 мм (1) і титанової фольги товщиною 0, 1 мм (2). Ці листи попарно зварювали по контуру точковим зварюванням. Таким чином виготовляли дві двошарові ніобієві-титанові заготовки. До однієї з цих заготовок з боку титану окремими точками по периметру приварюють армувальні сітки (3), що представляє собою односпрямовані зміцнюючі волокна діаметром 0,3 мм зі сплаву ВР273ВП, переплетені молібденовим дротом діаметром 0,1 мм. Після армування сітки покривали другу двошарову заготовку титановим шаром всередину пакета так, щоб армована сітка виявилася в середині пакета. Після цього остаточно

фіксували по контуру всі шари пакету за допомогою точкового зварювання з одночасним зварюванням до його торців двох металевих смуг (4), призначених для кріплення пакета в пристосуванні. У зв'язку з відсутністю титанової фольги товщиною 0,05 мм прошарок титану зазначеної товщини отримували методом термічного вакуумного осадження.

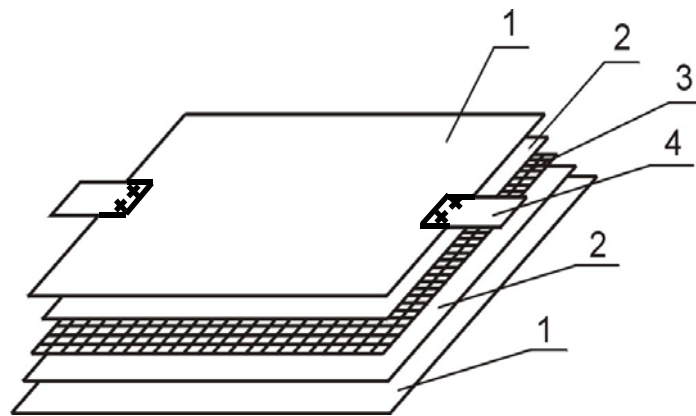


Рисунок - 2.1 Схема збірки пакета для зварювання заготовки композиційного матеріалу з шаруватою ніобій-титановою матрицею:

- 1 – зовнішні ніобієві листи;
- 2 – титанова фольга;
- 3 – армована сітка (зміцнюючі волокна діаметром 0,3 мм скріплені молібденовим дротом діаметром 0,1 мм);
- 4 – смужки кріплення, приєднані точковим зварюванням.

Цей процес проводили у вакуумній камері установки МАЄШ-20-75 при тиску 10^{-3} Па. Попередньо поверхню листової заготовки з ніобієвого сплаву очищали наждачним папером (М63) і послідовно промивали в ацетоні, спирті і дистильованій воді. Потім її нагрівали в вакуумі до температури 500°C протягом 20 хвилин, після чого охолоджували до 260°C . Потім збільшували електричний струм нагрівача зі сплаву ВР273ВП, обмотаного титановою

фольгою зі сплаву ВТ1-0, до моменту розплавлення зазначеної фольги і робили витримку десять хвилин, після чого зразок охолоджували.

Кількість матеріалу, який випаровується з сплаву (ВТ1-0) підбирали експериментально так, щоб отримати шар товщиною 0,05 мм. Нанесення титанового шару на армувальні волокна виробляли аналогічно осадженням титану на ніобієвій листовій заготовці.

Пакети композиційних матеріалів з матрицею з жароміцного сплаву збирали аналогічно, але без титанових шарів і з тією різницею, що волокна зі сплаву ВР273ВП, були переплетені дротом зі сплаву Х20Н80.

Верхні листи всіх зібраних пакетів розмічали на вісім рівних частин. Кожну частину зварювали по всій поверхні послідовним накладенням зварних швів на машині для контактного шовного зварювання типу МШЗ201 по режиму, відповідного умовам кожного конкретного досвіду матриці планування. Переміщення заготовки щодо роликів електродів зварювальної машини для накладення чергового шва здійснювали на певну величину (крок зварювання) за допомогою спеціального пристосування. Для зварювання застосовували роликові електроди з берилієвої бронзи марки БрБНТ діаметром 270 мм і шириною 8 мм. Витрата води для зовнішнього охолодження зварювальної заготовки становить $1,25 \cdot 10^{-4}$ м³ / с, швидкість зварювання була постійною і дорівнювала 4,1 мм / с.

Величину зварювального струму в кожному конкретному досвіді встановлювали в такий спосіб: спочатку за допомогою блоку регулювання збільшували ток до появи на поверхні зварюваності заготовки виплеску, а потім його зменшували до моменту їх зникнення. Тривалість імпульсу зварювального струму, тривалість паузи, зусилля стиснення електродів і крок зварювання визначали методом планування багатofакторних експериментів. Після зварювання кожну частину заготовки, зварену по режиму, різали поперек зварних швів для проведення металографічного аналізу. Паралельність укладання армувальних волокон між собою і віссю зразка перевіряли за допомогою просвічування рентгенівської дефектоскопії.

Зразки з композиційного матеріалу з шаруватою матрицею піддавали термоциклюванню і відпалу у вакуумній камері установки ИМАШ-5с-65. Температуру нагрівання контролювали за допомогою платинородію-платинової термопари і потенціометра КСП4. Термоциклювання зразків з даного матеріалу проводили по режиму: нагрів до температури 1600 ± 10 ° С, витримка протягом п'яти хвилин і охолодження до температури 250 ° С. Після цього зазначений режим повторювали до отримання заданої кількості термоциклів.

Про ступінь знеміцнення композиційного матеріалу з ніобій-титановою матрицею в процесі термоциклюванні судили за величиною його залишкової міцності, яку визначали шляхом випробування зразків на розрив при температурі 1560 ± 10 ° С. Термічну обробку волокон з титановим шаром здійснювали в трубчастій печі опору, вміщеній в вакуумну камеру установки ИМАШ-20-75 при тиску 10-3 Па.

Температуру волокон вимірювали за допомогою потенціометра ПП-63 і платинородію-платинової термопари з діаметром електродів 0,1 мм, приварених до зразка, яку використовують як волокно (ВР273ВП). Електроопір ділянки, що нагріваються волокна до і після чергового відпалу вимірювали при кімнатній температурі без його демонтажу на цій же установці потенціометром Р363-2.

2.4 Механічні випробування

Випробування зразків з композиційного матеріалу з шаруватою ніобієво-титановою матрицею і армувальних волокон проводили в вакуумі при залишковому тиску 1,33 10^{-3} Па на установці ИМАШ-20-75. За допомогою самописця Н306 реєстрували діаграми їх розтягування.

Зразки композиційного матеріалу і матричних сплавів мали загальну

довжину 75 мм. Розміри їх робочої частини були такі: довжина $46 \pm 0,5$ мм, ширина $3 \pm 0,05$ мм, товщина $1,2 \pm 0,2$ мм. Випробування проводили при швидкості навантаження 0,11мм/с. використовуючи дротові зразки довжиною 75мм з довжиною робочої частини 25 мм, визначали короточасну міцність армувальних волокон.

За допомогою стрічкового нагрівача з танталу, виробляли нагрів зразків. При цьому зона рівномірного нагріву становила 12мм. Час витримки зразків композиційного матеріалу при температурі випробування дорівнювало 5хв., а дротяних - 2хв. Вимірювання температури нагріву здійснювали за допомогою платинородію-платинових термопар з діаметром електродів 0,3мм, приварених до зразка в центрі і по краях його робочої частини. Перепад температур по довжині робочої частини зразка не перевищував 20°C

На приладі ПМТ-3 при навантаженні 50г визначали мікротвердість структурних складових композиційних матеріалів.

2.5 Розробка методики для оцінки ступеня використання міцності волокон в високотемпературних композиційних матеріалах

При розробці високотемпературних композиційних матеріалів важливо, щоб застосовувані методи дослідження не тільки достовірно відображали можливості використання цих матеріалів для конкретних деталей, але і були економічно виправдані. У багатьох випадках, при випробуванні листових матеріалів на розтяг, для того, щоб зразок руйнувався в межах робочої зони, передбачають поступове збільшення його міцності у напрямку від робочої частини до захвату за рахунок плавного збільшення ширини або товщини головок зразка. Проведення випробувань таких зразків при високих температурах (до 1600°C) вимагає використання захвату з

відповідних жароміцних матеріалів (молібдену, вольфраму, танталу), що економічно не завжди виправдано.

Інший шлях вирішення цього завдання, застосовуваний на установці ИМАШ-20-75, це нагрів тільки робочої зони зразка. При такій схемі нагріву розрив зразків відбувається в робочій зоні за рахунок того, що вона має більш високу температуру і, отже, більш низьку міцність. При цьому охолоджуючі захвати можна виготовляти зі звичайних матеріалів. Але, при проведенні випробувань волокнистих композиційних матеріалів у таких умовах цілком реальна ситуація, коли міцність зразка може надаватися незалежно від міцності з'єднання волокон з матрицею в гарячій зоні зразка. У підсумку результати випробування зразків композиційних матеріалів з безперервними волокнами на зазначеній установці не будуть відображати важливу характеристику композиційних матеріалів міцність з'єднання матриці і волокон. В силу різних причин, створення точних розрахункових методів для оцінки міцності з'єднання волокон з матрицею дуже занадто багато роботи. Значно продуктивніше визначати цю характеристику експериментально. Її оцінюють одним з таких методів: випробуванням шаруватих зразків, випробуванням зразків з одинарними волокнами, висмикуванням волокон або шляхом видавлювання волокон мікроіндентором.

Перший із зазначених методів полягає в наступному: лист матричного матеріалу зварюється з плоскою заготовлею матеріалу волокон. Розрахунок міцності зчеплення складових за результатами випробувань таких зразків відносно нескладний, так як виникають напруги на більшій частині граничної поверхні постійні, і тому впливом крайових ефектів можна знехтувати. Однак вказаний метод можна застосувати не у всіх випадках, оскільки не завжди можливо отримати матеріал, як у вигляді волокон, так і у вигляді тонких пластин з структурноподібним станом.

Другий метод для визначення міцності з'єднання складових формується зразок з одинарним армувальним елементом, розташованим аксіально в

матриці. При стисненні такого зразка на поверхнях розділу складових виникають радіальні напруження розтягу, що призводять до його розшарування. Цей метод дозволяє отримати достовірні результати, якщо руйнування композиційного матеріалу по поверхні складових відбувається раніше, ніж його руйнування в цілому. Міцність зв'язку між металевими складовими, можна порівняти з їх власною міцністю і тому вказаний метод в таких випадках не можна застосовувати.

Найбільш широко використовуваний спосіб визначення міцності зв'язку в композиційних матеріалах між металевими складовими - висмикування волокна, частково заформованими в матрицю. І цей метод має недоліки. Одна з причин того, що при цьому методі не відтворюються умови руйнування, які відбуваються в композиційному матеріалі, це додаток навантаження безпосередньо до волокна, а не через матрицю, як в реальному деталі. У зв'язку з цим навантаження з висмикуванням волокна розподіляється лінійно на відрізок від його кінця до місця виходу з матричного матеріалу, а в реальному композиційному матеріалі навантаження уздовж волокна розподіляється нелінійно і на невеликому відрізку. Тому умови руйнування на границях складових при витягуванні волокна з зразка і в реальних деталях з короткими зміцнюючими волокнами не є подібними.

Так само не є подібними умовами фізико-хімічної взаємодії матричного матеріалу і арматури в процесі формування зразків з одним волокном і зразків, що містять декілька волокон, методами, що включають пластичну деформацію матричної складової (що має місце в разі використання контактного шовного зварювання) [22].

Була запропонована схема, армування зразка зі складовими волокнами, що закінчуються в його робочій (нагрітій) зоні (рисунок 2.2.)

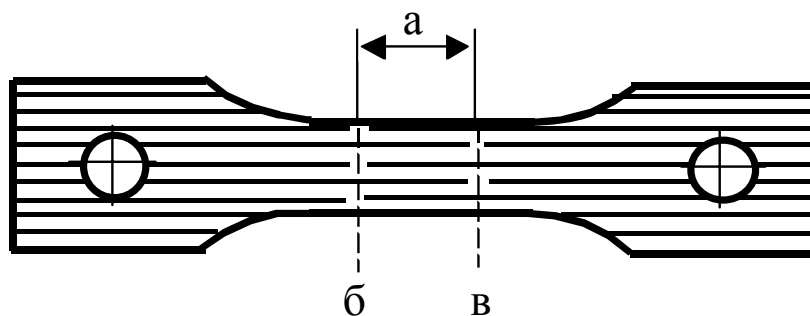


Рисунок - 2.2 Схема армування зразка складовими волокнами:

а) – довжина зони перекриття волокон; б) та в) – місце стикування волокон.

Результати випробувань таких зразків, вільні від зазначених вище недоліків. По-перше, зразок із запропонованою схемою армування містить багато волокон, процес його формування ближчий до процесу формування реального композиційного матеріалу, ніж процес формування зразка з одним волокном. По-друге, в зразку зі складовими волокнами навантаження передається на волокна через матрицю, а не безпосередньо на волокно, як у випадку зразка з одним частково заформованим волокном. Умови руйнування, що виникають при навантаженні в зразку із запропонованою схемою армування, більш близькі до умов, які мають місце в реальних композиційних матеріалах з короткими волокнами, ніж умови руйнування, що виникають в зразку з одним частково заформованим волокном.

Це дає підстави використовувати в разі зразка зі складовими волокнами теоретичні розробки для композиційних матеріалів, армованих короткими волокнами.

Рівняння аддитивності, для композиційного матеріалу, зміцненого короткими волокнами, має вигляд:

$$(\sigma_{\epsilon})_k = \frac{\tau_{\epsilon.p.} a}{d_{\epsilon}} V_{\epsilon} + \sigma_m (1 - V_{\epsilon}), \dots\dots\dots (2.1)$$

де $(\sigma_{\epsilon})_k$ – межа міцності композиційного матеріалу;

$\tau_{\epsilon.p.}$ – межа зсувної міцності границі розділу;

d_{ϵ} – діаметр волокна;

a – довжина перекриття сусідніх волокон;

V_{ϵ} – об'ємна частка волокон;

σ_m – напруга в матриці в момент розриву волокон.

Є два слабких перетину в робочій зоні армованого складовими волокнами зразка (місця стикування волокон «б» і «в»), по одному з яких зазвичай і руйнується зразок. Видно, що в перерізі, за яким відбувається руйнування зразка, свою частку зміцнення (до руйнування) вносять тільки цілі волокна, а інші волокна (складені з двох окремих шматків дроту кожне) в зміцнення зразка в даному перетині не вносять. Отже, в першому доданку рівняння (2.1) замість V_{ϵ} необхідно використовувати $V_{\epsilon} / 2$, і тоді рівняння можна представити у вигляді:

$$(\sigma_{\epsilon})_k = \frac{\tau_{\epsilon.p.} a}{2d_{\epsilon}} V_{\epsilon} + \sigma_m (1 - V_{\epsilon}). \quad (2.2)$$

З наведеного рівняння (2.2) випливає, що при даній схемі армувальних зразків їх міцність залежить від зсувної міцності границі розділу між

волоконм і матрицею($\tau_{г.р.}$). Тому при розтягуванні зразків зі складовими волокнами можливі два види руйнування:

а) якщо міцність з'єднання волокон з матрицею менше міцності самих волокон, то вони будуть витягатися з матриці;

б) якщо міцність з'єднання волокон з матрицею перевищує міцність самих волокон, вони будуть руйнуватися.

Аналіз характеру руйнування зразків, армованих складовими волокнами, дозволяє порівнювати міцність з'єднання волокон з матрицею з міцністю самих волокон. У даній роботі міцність з'єднання волокон з матрицею оцінювали саме за характером руйнування такого зразка. Якщо при розтягуванні зразка волокна руйнувалися, вважали, що величина $\tau_{г.р.}$ достатня і їх міцність використовується повністю. Якщо волокна витягувалися, вважали, що значення величини $\tau_{г.р.}$ недостатній для повного використання їх міцності. Подібні схеми армувальних композиційних матеріалів розглянуті в інших роботах: схема армування композиційного матеріалу безперервними волокнами, що знаходяться поруч з кінцями коротких волокон в роботі [23] і схеми армування перекриваються рядами коротких волокон.

У роботах показано, що у схемах армування у кінців коротких волокон виникає концентрація напружень. В композиційних матеріалах з пластичною зміцнюючою довжиною зони концентрації напружень приблизно відповідає двом діаметрам волокон, а коефіцієнт концентрації напружень при будь-якій об'ємній частці волокон має невисоке значення, близьке до 1,04. Концентрацію напружень у кінців волокон можна знизити шляхом зменшення відстані між паралельними волокнами і між кінцями складових частин волокон.

Деякими недосконалістю запропонованої схеми армування зразків є те, що при заданому значенні наповнення (V_v) внесок в зміцнення зразків вносить тільки половина волокон ($V_v/2$). Тому міцність зразків із запропонованою схемою армування менше міцності композиційного

матеріалу з безперервними волокнами, але ця задача легко вирішується шляхом випробування зразків з безперервними волокнами.

Таким чином, за характером руйнування зразків, армованих складовими волокнами, можна оцінити ступінь використання міцності волокон в композиційному матеріалі, а абсолютні значення його міцності визначити при випробуванні зразків з безперервними волокнами.

2.6 Інші методи досліджень

Рентгеноструктурні дослідження з метою встановлення закономірностей зміни параметра решітки матеріалу волокон після термічних впливів на композиційний матеріал проводили з використанням рентгенівської установки ДРОН-1, в мідному монохроматизованому K_{α} -випромінюванні.

Процеси дифузії хімічних елементів вивчали за допомогою рентгенівського мікроаналізатора РЕМА

Висновки

1. Визначено марки сплавів, які доцільно використовувати як матриці і волокна при розробці композиційних матеріалів, що працюють в термоциклічних умовах при максимальних температурах до 1600 ° С.
2. Розроблено методику, яка дозволяє оцінити ступінь використання міцності волокон в волокнистих композиційних матеріалах при випробуванні зразка, закріпленого в охолоджувальному захваті, і нагріванні тільки його робочої частини. Відрізняється від відомої методики (висмикування часткового заформованного волокна) тим, що при її використанні навантажується зусилля в робочій частині зразка передається на волокна через матрицю, і процес формування зразків для випробувань не відрізняється від процесу формування композиційного матеріалу.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ЇХ СТРУКТУРУ І ВЛАСТИВОСТІ

Наведені вище результати аналізу літературних даних (розділ 1) свідчать, що значення температурно-часових параметрів процесів одержання композиційних матеріалів необхідно вибирати, керуючись двома не сумісними вимогами. Потрібно домогтися міцного з'єднання волокон з матрицею, що забезпечує повне використання їх зміцнення здатності, так само, не допустити деградації волокон. Виконання цих умов вимагає зміни температурно-часових параметрів процесу отримання композиційних матеріалів в протилежних напрямках. Тобто для підвищення міцності зчеплення волокон з матрицею і отримання потрібної структури композиційного матеріалу необхідно збільшувати температуру і тривалість процесів формування та відпалу. Але така зміна технологічних параметрів сприяє знеміцнення волокон. У даній роботі ступінь оптимальності технологічних режимів визначали:

- а) контролюючи структуру композиційного матеріалу;
- б) оцінюючи міцність з'єднання волокон з матрицею;
- в) порівнюючи значення міцності досліджуваного композиційного матеріалу, певні експериментально, зі значеннями зазначеної характеристики, передбаченими теоретично.

3.1 Оптимізація режимів формування композиційних матеріалів

Нам відомо, що рідкофазний стан матричного матеріалу під час формування, забезпечує більш надійне з'єднання складових, ніж

твердофазної. Необхідною умовою утворення з'єднання між складовими композиційного матеріалу є злиття точок взаємодії на всій граничній поверхні цих складових. Ця умова підходить структурі композиційного матеріалу, що складається з лав волокон, розташованих в бездефектній проплавленій зоні матриці. На поверхневому шарі композиційного матеріалу рекомендовано зберегти структуру та властивості (пластичність, цілісність) вихідного матеріалу.

На сьогоднішній день опис процесу формування композиційного матеріалу методом контактного зварювання не дає точних рішень, необхідної для розробки промислової технології. У разі зміни значення одного з стабілізованих факторів змінюється форма залежності властивостей від будь-якого з досліджуваних факторів. Тому, впливу багатьох чинників на структуру і властивості одержуваних матеріалів шляхом проведення однофакторних експериментів дуже часто недостатньо.

Дану роботу досліджень проводили методом планування експериментів залежностей між характеристиками композиційних матеріалів і технологічними параметрами процесу. Залежність між досліджуваними факторами і параметром оптимізації вирішили здійснити опис за допомогою математичної моделі у вигляді полінома першого ступеня, а якщо лінійні рівняння виявляться неадекватними, то послідовно добудовувати реалізовані репліки до необхідного рівня.

При виборі параметра оптимізації виходили з того, що структура композиційного матеріалу повинна складатися з лав волокон, розташованих в бездефектній проплавленій зоні матричного сплаву. Ця вимога стосується стиків паралельних сусідніх швів. Припускали вимірювати висоту проплавлення зони саме на стиках сусідніх швів.

3.2 Оптимізація режиму формування волокнистого композиційного матеріалу з шаруватою ніобій-титановою матрицею

Процес складання пакета для формування заготовки даного композиційного матеріалу описаний в розділі 2.3. Рівні та інтервали варіювання змінних факторів при дослідженні процесу формування цього композиційного матеріалу представлені в табл. 3.1

Таблиця 3.1 - Рівні та інтервали варіювання факторів

Фактори	Інтервали варіювання	Рівні факторів		
		середній	верхній	нижній
X ₁ – тривалість імпульса зварювального струму, с	0,02	0,04	0,06	0,02
X ₂ – тривалість паузи зварювання, с	0,10	0,30	0,40	0,20
X ₃ -зусилля стиснення роликів,кН	1,10	4,40	5,50	3,30
X ₄ -крок зварюваних швів,мм	1	5	6	4

Відомо, з досліду попередніх експериментів, що зразки можуть не мати проплавленної зони на стику сусідніх швів, якщо як параметра оптимізації

прийняти висоту зазначеної зони, то обробка результатів таких дослідів буде ускладнена. Параметр оптимізації обрали безрозмірний показник, пропорційний усередненому значенню електропровідності композиційного матеріалу, яка залежить від кількості дефектів в зразку. Чисельні значення параметра оптимізації визначали струмовихровим вимірником електропровідності ВЄ-20Н.

Відповідно до обраних умов (табл. 3.1) були надані, результати досліджень табл. 3.2.

Номер дослідів	X_0	X_1	X_2	X_3	X_4	Y_1 – кількість поділок за шкалою приладу ВЄ-20Н
1	+	-	-	-	+	36,1
2	+	+	-	-	-	41,3
3	+	-	+	-	-	41,5
4	+	+	+	-	+	44,8
5	+	-	-	+	-	42,1
6	+	+	-	+	+	46,7
7	+	-	+	+	+	44,6
8	+	+	+	+	-	50,8

Коефіцієнти і статистичні оцінки отриманої моделі наведені в табл. 3.3. З урахуванням того, що коефіцієнт при X_4 виявився не значний (табл. 3.3), після його виключення отримали наступне рівняння, описує залежність показань приладу ВЄ-20Н від значень технологічних параметрів:

$$Y_1 = 43,5 + 2,4X_1 + 1,9X_2 - 2,6X_3, \quad (3.1)$$

де Y_1 – кількість ділень по шкалі прилада ВЄ-20Н

Таблиця 3.3 Коефіцієнти і статистичні оцінки отриманих моделей

Найменування статистичної характеристики	Кількість ділень по шкалі прилада ВЄ-20Н
b_0	43,50
b_1	2,40
b_2	1,90
b_3	-2,60
b_4	-0,40*
S_y^2	0,23
$S^2(b_i)$	0,29
t_s	3,18
Δb_i	0,54
$S_{ад}^2$	0,72
Fрас.	3,14
Fтаб.	6,60

Примітка. Зірочкою (*) позначені коефіцієнти, які виявилися незначними.

Здійснили рух за градієнтом в напрямку зменшення розміру і кількості дефектів, що вказується рівнянням регресії (3.2). Для розрахунку умов проведення дослідів руху по градієнту використовували рівняння регресії (3.2), виражене в натуральних величинах:

$$Y_1 = 59 + 120\tau_u + 19\tau_h - 2,4p, \quad (3.2)$$

де τ_u - тривалість імпульсу зварювального струму, с;

τ_h - тривалість паузи зварювання, с;

p - зусилля стиснення роликів електродів, кН

Розрахунок умов проведення дослідів і їх результати наведені в табл. 3.4

Таблиця 3.4 Розрахунок дослідів крутого сходження

Найменування параметрів	τ_u , с	τ_h , с	p , кН	Y_1 – кількість ділень по шкалі прилада ВС-20Н	
				Експеримент	Розрахунок
Основний рівень	0.04	0.30	4,40	—	—
Коефіцієнт b_i	2.40	1.90	-2.6	—	—
інтервал варіювання ε_i	0.02	0.10	1,1	—	—
$b_i \times \varepsilon_i$	0,0480	0,019	-2,86	—	—
округлений крок, Δ_i	0,02	0,08	-1,2	—	—
Дослід 1	0,06	0,38	3,2	50,0	50,0

Продовження таблиці 3.4

Дослід 2	0,08	0,46	2,0	55,0	56,9
Дослід 3	0,10	0,54	0,8	55,0	63,7

В даному випадку зупинилися на умовах відповідних другому досліду крутого сходження, тому що в подальшому просуванні по градієнту не було необхідності.

Для формування композиційного матеріалу з шаруватою ніобій-титановою матрицею встановлені значення досліджених чинників:

тривалість імпульсу зварювального струму, з $0.08 \pm 0,003$;

тривалість паузи, з $0.46 \pm 0,005$;

зусилля стиснення електродів, кН $2,0 \pm 0,1$;

крок зварювальних швів, $4,0 \pm 0,25$ мм

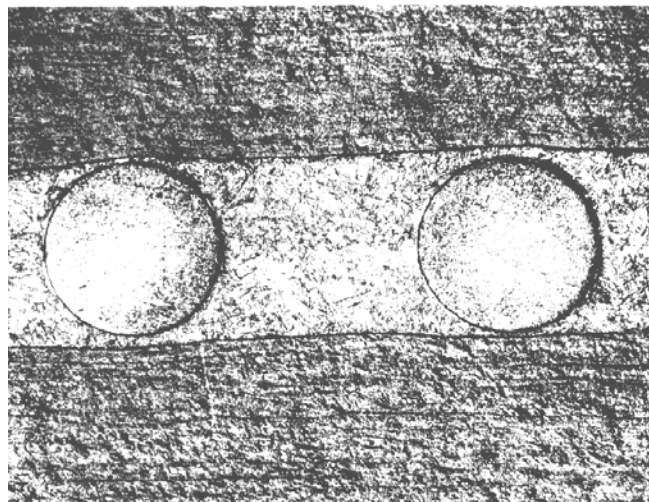


Рисунок - 3.1 Мікроструктура композиційного матеріалу з шаруватою ніобієвою-титановою матрицею сформованого по режиму другого досліді крутого сходження

3.3 Дослідження використання вихідних властивостей матриць і волокон в сформованих композиційних матеріалах

Матеріали складаються з термодинамічно несумісних фазових компонентів, механічні властивості останніх можуть істотно погіршитися при високих температурах, які розвиваються в процесі формування. В даній роботі проводили дослідження ступеня використання вихідних властивостей складових матриць і волокон в сформованих композиційних матеріалах. Визначаючи різницю між фактичними значеннями властивостей і їх значеннями, передбаченими теоретично, можна судити про те, наскільки близькі встановлені раніше значення технологічних параметрів процесу формування структури композиційного матеріалу до їх оптимальних значень, з точки зору використання вихідних властивостей складових.

Для композиційних матеріалів з вольфрамовими волокнами, що володіють деякою пластичністю, спостерігається хороший збіг як розрахункових, отриманих за правилом суміші, так і експериментальних значень меж міцності, описується у роботі. Так як, в нашому випадку використовували металеві матриці і волокна, які мають приблизно таку ж пластичність, як і складові композиційних матеріалів, які були досліджені в зазначених роботах, для розрахунку теоретичної міцності композиційних матеріалів, армованих безперервними волокнами, використовували правило "суміші" яке має, такий вигляд:

$$(\sigma_B)_k = (\sigma_B)_B \cdot V_B + \sigma_M \cdot (1 - V_B), \quad (3.3)$$

де $(\sigma_B)_k$ - межа міцності композиційного матеріалу;

$(\sigma_B)_B$ - межа міцності волокон;

V_B - об'ємна частка волокон;

σ_M - напруження в матриці в момент розриву волокон.

При високих температурах в процесі розтягування зразка матриця зміцнюється незначно, величину σ_m взяли рівній межі міцності матриці (σ_b). Для композиційного матеріалу з шаруватою ніобій-титановою матрицею випробовували зразки з попередньо сформованого шаруватого композиційного матеріалу НБПЛ - ВТ1-0. При цьому встановили, що його короткочасна міцність при температурі 1560 ° С становить 39,4МПа. (міцність волокон наведені у розділі 2, табл. 2.2).

3.4 Вплив товщини титанового прошарку і термічних впливів на ступінь використання міцності волокон в композиційному матеріалі

Робочі температури композиційних матеріалів обмежені не тільки міцністю волокон, а й міцністю матриці. При досить високих температурах, в результаті "розм'якшення" матриці, руйнування деталі з композиційного матеріалу може відбуватися і без розриву волокон, наприклад, шляхом їх розмотування. Міцність зв'язку між складовими (матрицею і волокнами) композиційного матеріалу багато в чому визначає його цілісність і, головне, здатність протистояти знакозмінним напруженням і термоциклюванню. Використання в композиційному матеріалі прошарку з титанового сплаву ВТ1-0 з температурою плавлення, близької до температури експлуатації деталей, може привести саме до ситуації, коли через недостатню міцність з'єднання волокон з ніобієм становить не будуть повною мірою реалізовані їх властивості міцності. Із застосуванням розробленої методики (розділ 2.6) провели дослідження ступеня використання міцності волокон в композиційному матеріалі при підвищених температурах.

Відповідно до висновків зазначеної роботи підвищити міцність з'єднання волокон з матрицею в композиційному матеріалі ніобій - вольфрам

можна за допомогою термічної обробки, що підсилює взаємну дифузію елементів волокон і матриці. У композиційному матеріалі з шаруватою ніобієво-титановою матрицею міцність з'єднання волокон з тугоплавкими ніобієвими складовими, очевидно, залежить від міцності титанового прошарку, навколишнього волокна, а також від ступеня їх взаємодії між собою. Міцність титанового прошарку визначається вмістом тугоплавких елементів (ніобію, вольфраму і ренію), що розчиняються в ній при виготовленні і термічній обробці композиційного матеріалу. Бачимо, що чим тонше титановий прошарок, тим меншу частину тугоплавких компонентів необхідно розчинити для її легування до заданого ступеня. В якості досліджуваних факторів були обрані товщина титанового прошарку і режим дифузійного відпалу. Температуру відпалу вибрали відповідно до передбачуваної робочої температури деталей (1560°C) і можливостями наявного на машинобудівних заводах обладнання. Максимальну температуру випробування зразків (1580°C) прийняли трохи вище робочої з необхідним коефіцієнтом запасу, що враховує можливі місцеві перегріву деталі.

Про міцність з'єднання волокон з матрицею судили за характером руйнування зразків. Якщо волокна розривалися під час випробування зразка, вважали, що міцність волокон використовується повністю і величина $\tau_{г.р.}$ достатня. Якщо волокна витягувалися, вважали, що величина $\tau_{г.р.}$ недостатньо висока. Умови проведення дослідів і результати випробувань наведені в табл. 3.7.

Таблиця- 3.7 Вплив товщини титанового прошарку і тривалості відпалу на характер руйнування та міцність зразків зі складовими волокнами.

Характеристика початкового титанового прошарку	Тривалість відпалу, год	Температура дослідів, °С	Міцність σ_B , МПа	Характер руйнування
Два шару фольги товщиною 0,1 мм	-	1300	66,0	Волокна витягувалися
	1	1580	27,3	Волокна розривалися
Два осаджених слоя титану товщиною 0,05 мм	-	1580	50,2	Волокна розривалися

Примітки до таблиці 3.7:

1. $\Delta\sigma \pm 0,5$ МПа при ймовірності $P = 0,95$.

2. Температура відпалу 1560 °С

З таблиці видно, що зразки композиційного матеріалу з товщиною титанового прошарку 0,2 мм (два шари фольги по 0,1 мм) руйнуються з витягуванням волокон вже при температурі 1300 ° С, що узгоджується з результатами інших робіт. Наприклад, згідно з результатами роботи [24], кільцеві деталі з титанового сплаву ВТ1-0, армовані вольфрамовими (ВА-1Б) або молібденовими (ВМ-3П) дротами, можна використовувати при температурах не вище 1200 ° С, оскільки при більш високих температурах міцності катастрофічно знижуються в зв'язку з різким падінням міцності

титанової складової, що призводить до руйнування кільцевих зразків з цього матеріалу шляхом розмотування волокон.

Після дифузійного відпалу при температурі 1580 ° С протягом години волокна в зразках розривалися. Це можна пояснити тим, що з одного боку, в процесі відпалу композиційних зразків відбувається розчинення тугоплавких елементів (ніобію, вольфраму і ренію) в титановому прошарку, внаслідок чого підвищується її міцність при підвищених температурах. З іншого боку, відбувається зниження міцності самих волокон в результаті взаємодії їх з титановим прошарком. При зменшенні товщини титанового прошарку (два осаджених шару титану товщиною по 0,05 мм замість двох шарів титанової фольги товщиною 0,1 мм) зразки безпосередньо після формування (без дифузійного відпалу) руйнувалися при температурі випробування 1580 ° С з розривом волокон. Це свідчить про те, що міцність з'єднання волокон з матрицею в даному випадку більше міцності самих волокон. Можна пояснити тим, що при формуванні композиційного матеріалу з тонким титановим прошарком вона повністю витрачається на заповнення простору між волокнами, в результаті чого волокна з'єднуються безпосередньо з матричними ніобієвими складовими.

Висновки

- 1 Показано, що для композиційного матеріалу НбПЛ - ВТ1-0 - ВР273ВП після формування найбільш ефективним є низькотемпературний відпал з нагріванням до температури 700 ° С.
- 2 Із застосуванням розробленої методики показано, що досягти повного використання міцності волокон в композиційному матеріалі з шаруватою ніобієво-титановою матрицею можна шляхом підбору товщини титанового прошарку.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗМІНИ СТРУКТУРИ І ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ТЕРМІЧНОМУ ВПЛИВІ

Результати досліджень, наведені в розділах 2 і 3, вони свідчать, про те що вибором складових (матриці і волокон) і технологічних режимів можна отримати композиційний матеріал з "бажаною" бездефектною структурою, забезпечивши при цьому повне використання вихідної міцності його волокон. Але недостатньо для впровадження композиційних матеріалів у виробництво рішення тільки цієї задачі.

Робота деяких теплових двигунів характеризується певним числом пусків і зупинок, тепловий вплив циклічно повторюється, в результаті чого зниження механічних властивостей композиційних матеріалів зазвичай прискорюється. Зміна структури композиційного матеріалу, що приводить до зниження його міцності властивостей, при високих температурах, пов'язано з дифузійними процесами. У зв'язку з цим було проведено дослідження закономірностей зазначених процесів, що відбуваються як при безперервних, так і циклічно повторюваних нагрівах, і їх впливу на структуру і властивості запропонованих композиційних матеріалів.

4.1 Дослідження процесів знеміцнення в композиційному матеріалі з шаруватою ніобієво-титановою матрицею

У композиційному матеріалі з шаруватою ніобієво-титановою матрицею НБПЛ - ВТ1-0 - ВР273ВП спостерігали зниження високотемпературної міцності більш ніж в 2 рази вже після 60 термоциклів (по режиму: нагрів до температури 1560 ± 10 ° С, витримка протягом п'яти

хвилин і охолодження до температури 250 ° С). Швидке знеміцнення звужує можливості використання зазначеного композиційного матеріалу. З метою спрощення завдання з'ясування причин, швидкого знеміцнення, спочатку провели дослідження впливу тривалості безперервного відпалу на міцність даного матеріалу при підвищених температурах (рис. 4.1)

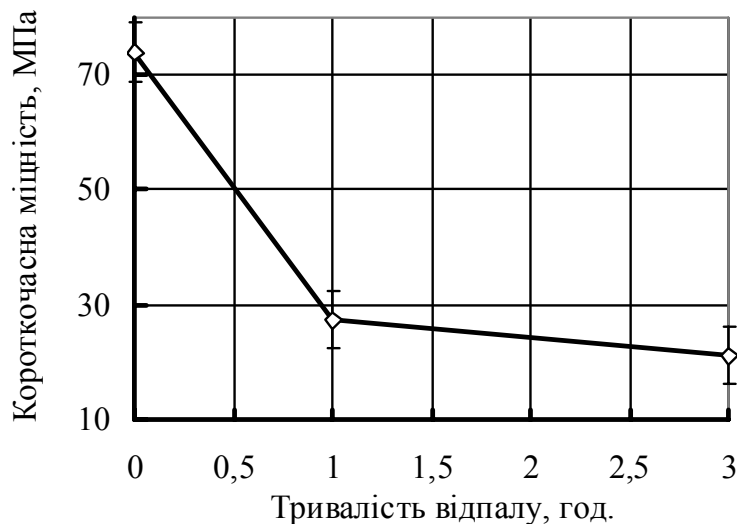


Рисунок - 4.1 Залежність короткочасної міцності композиційного матеріалу НБПЛ - ВТ1-0 - ВР273ВП при температурі випробування 1560 ° С від тривалості відпалу (температура відпалу 1560 ° С).

На рисунку видно, що високотемпературна міцність даного композиційного матеріалу знижується приблизно в 2 - 2,7 рази. Як показали випробування, міцність не армованої шаруватої матриці після аналогічного відпалу зменшується всього в 1,2 рази. Тому далі досліджували залежності електроопору, мікротвердості і параметра ґратки матеріалу волокон від температури і тривалості відпалу.

Для вивчення закономірностей зміни електроопору волокон при відпалі їх в контакт з титаном волокна з осадженим шаром титану піддають відпалу нагріваючи до температури 700 ° С протягом 0,5; 1,0 і 2,0-х годин. Встановлено, що електроопір волокон при зміні тривалості відпалу фактично

зберігається на одному рівні. Про закономірності зміни структури і властивостей волокон при їх відпалі в складі композиційного матеріалу були отримані за допомогою рентгеноструктурного і дюрOMETричного методів дослідження (рис. 4.2)

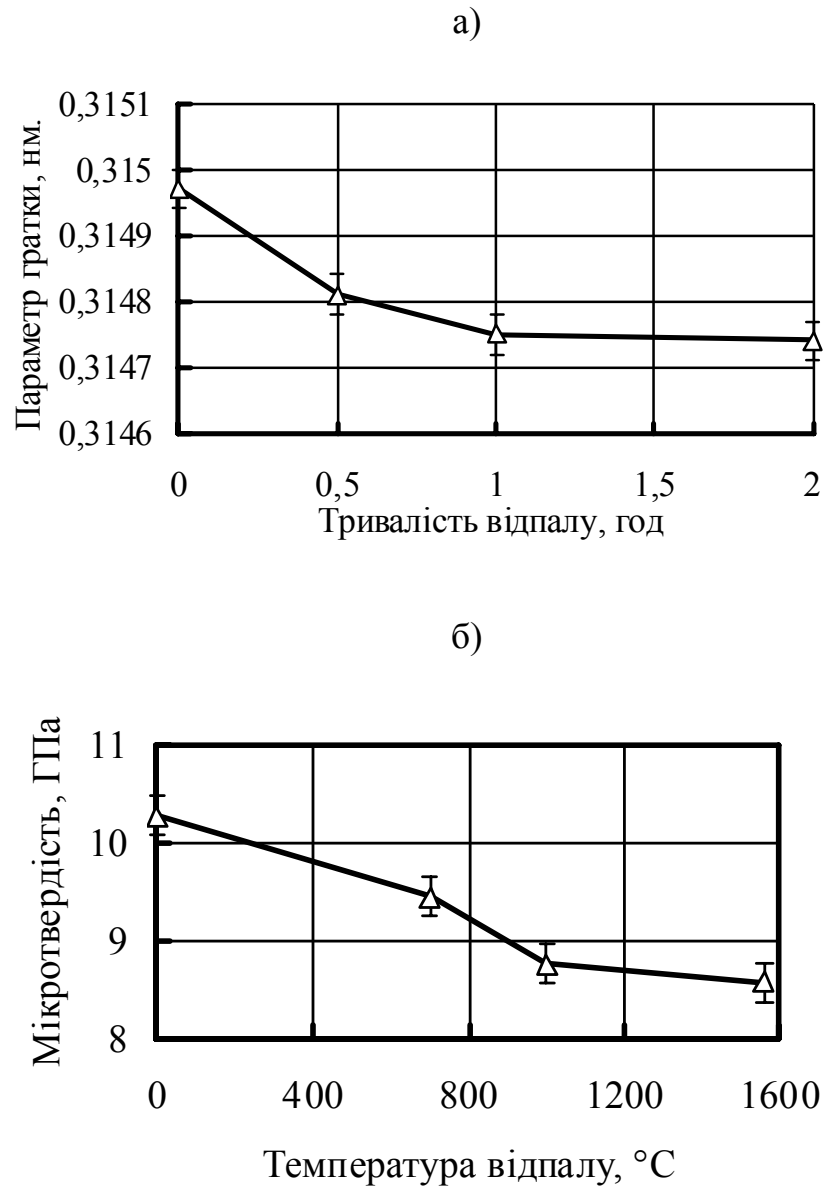


Рисунок - 4.2 Залежність параметра ґратки (а) і мікротвердості (б) вольфрамо-рениєвих волокон від тривалості відпалу:

◇ – температура відпалу 700 °C;

□ – температура відпалу 1000 °C;

Δ – температура відпалу 1560°C.

З зазначеного рисунку видно, що параметр ґратки матеріалу волокон і їх мікротвердість зі збільшенням тривалості відпалу знижуються [25].

За висунутою гіпотезою, зменшення параметра ґратки пов'язано з відходом домішок впровадження з матеріалу волокон до титану, через підвищену здатність останнього виступати в якості активного термодинамічної геттера;

Припущення про дифузії домішок впровадження з матеріалу волокон (вольфрамо-ренієві сплави) в титан узгоджується, рафінування молібдену титаном при відпалі зразків шаруватого композиційного матеріалу молібден - титан. Широко відомо зменшення параметра ґратки та мікротвердості сплавів (не тільки вольфраму) при очищенні їх від атомів впровадження. Швидкість дифузії вуглецю в вольфрам на 4-5 порядків вище, ніж швидкості самодифузії вольфраму і дифузії перехідних металів (Ti, Nb). Можна очікувати, що в композиційному матеріалі (НБПЛ - BT1-0 - BP273BP) дифузія домішок впровадження з вольфрамо-ренієвих волокон в титані буде відбуватися при більш низьких температурах і значно швидше, ніж дифузія титану в матеріал волокон.

В зоні титанового прошарку композиційного матеріалу зі складовими з ніобієвим сплавом НБЦУ при термоциклюванні утворюються тверді включення нової фази ($H_m = 36,2$ ГПа).

В процесі термоциклювані приграничні області титанового прошарку з ніобієвими складовими і титанового прошарку з вольфрамо-ренієвими волокнами насичуються ніобієм, вольфрамом і ренієм. Оскільки розміри зазначених атомів (ніобію, вольфраму і ренію) менше, ніж розміри атомів титану, то параметр ґратки, а отже і величина октаедричних і тетраедричних пор утворився твердого розчину цих елементів, менше, ніж у чистого титану прошарку. Ці обставини, знижують термодинамічну активність легованих приграничних областей титанового прошарку, що і призводить до накопичення вуглецю в середині, в результаті чого саме там і виявлені карбіди. Зі збільшенням кількості термоциклів (до 100) розміри включень

збільшуються (рис. 4.4), що, пов'язано з підвищенням концентрації вуглецю, дифундируючого в титановому прошарку.

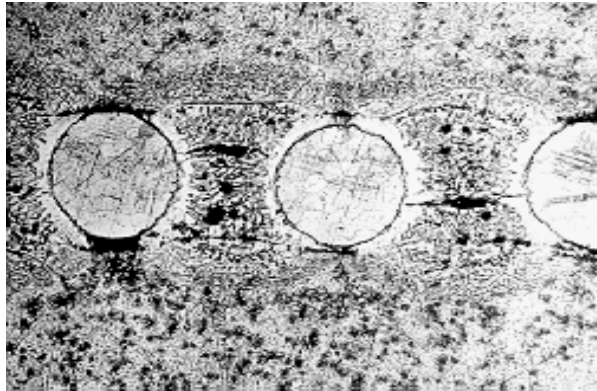


Рисунок - 4.4 Мікроструктура композиційного матеріалу після 100 термоциклів.

На користь припущення про вплив відтоку атомів впровадження з волокон, на їх міцність в композиційному матеріалі свідчить і вид залежності короточасної міцності від числа термоциклів композиційного матеріалу з матричними листами з ніобієвого сплаву НБЦУ з більшою концентрацією вуглецю, ніж у ніобієвого сплаву НБПЛ рис.4.5

На рисунку видно, що короточасна міцність композиційного матеріалу з ніобієвими складовими зі сплаву НБЦУ знижується всього в 1,2 рази нижче вихідного значення [26].

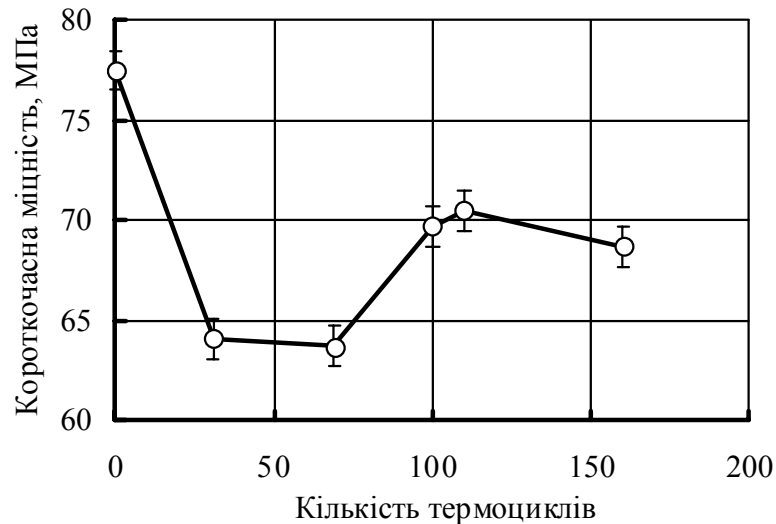


Рисунок - 4.5 Залежність короткочасної міцності композиційного матеріалу з зовнішніми аркушами зі сплаву НбЦУ від кількості термоциклів (температура випробування 1560 ° С).

З метою вивчення закономірностей проходження процесів, що призводять до збільшення параметра ґратки матеріалу волокон (рис. 4.3), досліджували перерозподіл елементів заміщення (Nb, Ti, W, Re) між складовими композиційного матеріалу. При проведенні термоциклюванні зразків даного композиційного матеріалу спостерігали взаємне розчинення складових один в одному (рис 4.4). При цьому в приграничних областях складових утворювалися тверді розчини, що, природно, не могло не позначитися на властивостях композиційного матеріалу. Тому більш детально зупинимося на закономірностях проходження зазначених процесів.

Після невеликої кількості термоциклів (близько 20) спостерігали зниження концентрації ніобію (приблизно до 30% мас.) На місці вихідної границі з'єднання титанового прошарку з ніобій складовими в результаті твердого розчину, що містить близько 70% мас. щодо легкоплавкого компонента титану. При цьому зміст ніобію в нинішньому сплаві (маршрут руху зонда показаний на (рис. 4.6) повільно зростає на ділянці від середини титанового прошарку до первісної границі з'єднання титанового прошарку і

ніобієвої складової і різко збільшується після переходу через зазначену границю в напрямку ніобієвої складової (рис. 4.7).

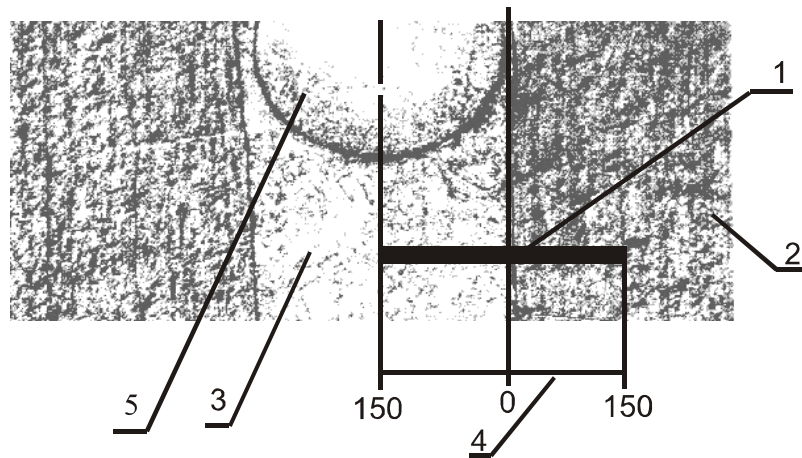


Рисунок - 4.6 Маршрут руху зонда №1:

1 - маршрут руху зонда; 2 - ніобієві листи; 3 - титановий прошарок; 4 - відстань від кордону Ti - Nb; 5 - волокно.

Енергія активації процесу дифузії (в грубому наближенні) корелює з температурою плавлення металу. Оскільки в нашому випадку температура плавлення титану (1670°C) набагато нижча за температуру плавлення ніобію (2460°C), то і енергія активації процесу дифузії буде нижчою в титані. Температурний коефіцієнт дифузії (D), определяемый энергией активации, будет иметь большее значение в более легкоплавкой титановой прослойке. Тому в титановому прошарку атоми ніобію швидко дифундують до її центру і спостережуваний градієнт концентрації ніобію по товщині цього прошарку невеликий. Після перших двадцяти термоциклів концентрація ніобію в титановому прошарку змінюється від 18% мас. (в її середині) до 28% мас. (на місці вихідної границі з'єднання титанового прошарку з ніобієвими складовими). Отриманого ніобієво-титанового твердого розчину в зазначеній приграничній області призводить до зменшення перетину ніобієвих складових.

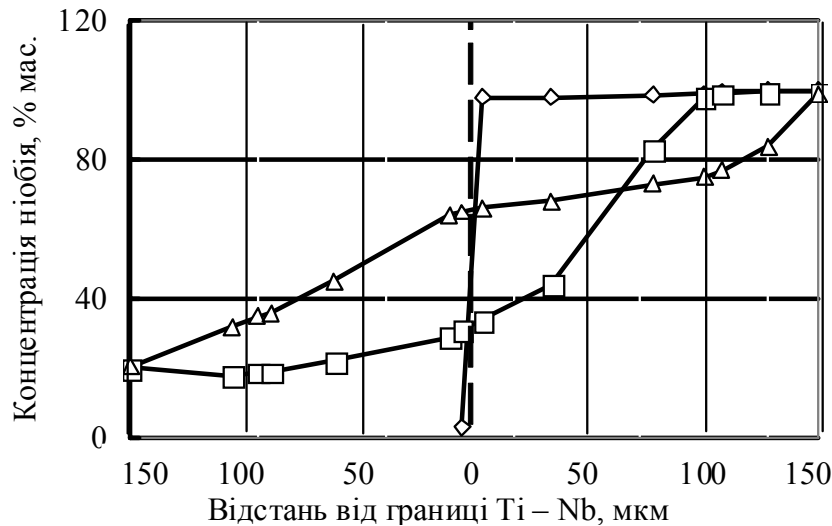


Рисунок - 4.7 Розподіл ніобію по перетину зразка композиційного матеріалу після різної кількості термоциклів (маршрут зонда № 1):

◇ – початковий (після зварювання);

□ – 20 термоциклів;

Δ – 100 термоциклів.

В зв'язку з тим, що концентрація титану при видаленні від початкової межі з'єднання фаз в бік ніобієвих складових швидко убиває, приграничний шар із зазначеного твердого розчину має невеликий поперечний переріз і, мабуть, не може викликати значного зменшення міцності. Зі збільшенням кількості термоциклів (від 20 до 100) відбувається насичення приграничного шару титанового прошарку ніобієм. При цьому концентрація ніобію в зазначеному приграничному шарі (на початку границі ніобієвих складових з титановим прошарком) зростає приблизно з 30 до 65% мас. (рис.4.7). Це підвищує температуру плавлення сплаву приграничного шару прошарку і, зменшує коефіцієнт дифузії в ньому атомів ніобію. Тому темп насичення центру титанового прошарку ніобієм зі збільшенням числа термоциклів сповільнюється. При збільшенні кількості термоциклів від 20 до 100 концентрація ніобію в середині титанового прошарку зросла всього на 3% мас. (рис. 4.7). При цьому градієнт концентрації ніобію в титановому

прошарку дещо зростає, що може позитивно впливати на високотемпературну міцність її приграничного шару.

В результаті даних досліджень сформульовані наступні висновки:

- 1 встановлено, що заміна сплаву НБПЛ на сплав НБЦУ суттєво зменшує знеміцнення армувальних волокон із сплаву волокон ВР273ВП;
- 2 показано, що зменшення товщини прошарку титану (припою) підвищує міцність з'єднання волокон з матрицею;
- 3 при нагріванні даного композиційного матеріалу відбувається розчинення ніобію в титановому прошарку, в результаті чого підвищується його міцність при високих температурах експлуатації.

5 ХАРАКТЕРИСТИКА РИНКУ МАТЕРІАЛІВ, ЩО ДОСЛІДЖУЮТЬСЯ

5.1 Ринок технологій – елемент світового ринку

Композиційні матеріали є важливим сегментом світової торгівлі, і їх споживання з розвитком науково-технічного прогресу стає дедалі більше. Область застосування композиційних матеріалів дуже широка: авіація, інфраструктура, машинобудування, радіоелектроніка, сфера високих технологій, побутові комунікації.

Вони характеризують вартість матеріалу, трудомісткість виготовлення, складання та клінічних випробувань конструкцій, а також технологічну собівартість виробу. На практиці часто використовують питомі економічні показники, що відображають економічні і трудові витрати на одиницю маси виробу або одиницю об'єму. Ці показники тісно пов'язані з вище переліченими і визначають наявність позитивного балансу при заміні в конструкції старого матеріалу на новий. Таким чином, основним при розробці композиційного матеріалу є об'єднання компонентів з відомими властивостями в певному співвідношенні і послідовності для створення матеріалу з новими заданими властивостями і характеристиками. При цьому іноді спостерігається ефект синергізму. Термін «синергізм», прийнятий в фармакології, в фізикохімії полімерів означає такий механізм взаємодії кількох компонентів, при якому вироблений ефект виявляється більшим, ніж ефект від суми впливів кожного компонента окремо. З появою такого роду матеріалів виникла можливість селективного вибору властивостей композитів, необхідних для потреб кожної конкретної області застосування. В силу цього композиційного матеріалу виявилися зручними при проектуванні і плануванні підвищення тактико-технічних характеристик розроблюваних виробів.

Дуже широкий спектр конструкційних технологій, але технічний прогрес і економічну кризу призводять до пошуку композиційних матеріалів з високим рівнем механічних і експлуатаційних властивостей.

У розвитку науки і технологій композитні матеріали ставали все різноманітніше - з'являлися нові армувальні речовини. Нові сполучні на основі різних смол і пластмас і нові технології з'єднання компонент в єдине ціле. Сьогодні навряд чи можна відшукати сферу людської діяльності, де не використовувалися б штучно створені композитні матеріали. Вони застосовуються скрізь - від космічних ракет до зубних пломб.

Говорячи про розвиток світової металургії в цілому, необхідно відзначити той факт, що фахівці, незважаючи на всі існуючі проблеми, все ж дають позитивні прогнози. Продукція яка затребувана в самих різних сферах виробництва, буде рости, стверджують експерти. [27]

5.2 Обґрунтування наукових досліджень

Метою цього розділу є обґрунтування доцільності використання удосконаленого виробу та технології його зміцнення.

Таблиця 5.2.1 - Техніко-економічні показники виробів

Найменування виробу	Базовий виріб	Новий виріб
1.Насадок для теплових двигунів	Н6ЦУ	ВР273ВП з волокнами
2.Технологія зміцнення	-	Контактне зварювання
3.Програма випуску, шт	16	16

Відомо, що насадок має виробничу собівартість $C_1 = 15000$ грн.

Для розрахунку собівартості нового виробу C_2 необхідно розрахувати собівартість удосконалення виробу та технологію його зміцнення.

Вартість сировини і основних матеріалів розраховується на основі технічно обґрунтованих норм використання на виробництво одиниці виробу, цін відповідних видів матеріальних ресурсів. При цьому враховуються транспортно-заготівельні витрати. Сума витрат на сировину та матеріали зменшується на величину зворотних відходів, які створюються в процесі виробництва.

Таблиця 5.2.2 – Вартість сировини та основних матеріалів для сопла

Найменування сировини та основних матеріалів	Норма використання	Ціна, грн	Вартість, грн.
НБУ	2	1700	4600
Армувальні волокна ВР273ВП	7	950	6650
Разом	9	3250	11250

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

Розрахунок основної заробітної плати на одиницю продукції наведенні в таблиці 5.2.3.

5.2.3 Таблиця – Заробітна плата на одиницю продукції .

Найменування операції	Норма часу, н-годин	Розряд робіт	Часова тарифна ставка, грн.	Заробітна плата на одиницю продукції (розцінка), грн.
Контакт не зварювання	5	5	55	275
Усього	5	5	55	275

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

$$ЗД = ЗО \cdot \frac{K_d}{100}, \text{ грн.}, \quad (5.1)$$

де K_d – процент додаткової заробітної плати.

$$ЗД = 275 \cdot \frac{40}{100} = 110 \text{ грн.}$$

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

$$ВС = (ЗО + ЗД) \cdot \frac{K_{вс}}{100}, \text{ грн.} \quad (5.2)$$

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

$$BC = (275 + 110) \cdot \frac{22}{100} = 170,5 \text{ грн.},$$

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

Загальновиробничі витрати складають в середньому 400% до основної заробітної плати та розраховуються за формулою :

$$ЗВВ = ЗО \cdot \frac{\alpha}{100}, \text{ грн.}, \quad (5.3)$$

де α - % загально виробничих витрат.

$$ЗВВ = 275 \cdot \frac{400}{100} = 1100 \text{ грн.}$$

Вищенаведені витрати складають виробничу собівартість.

Адміністративні витрати вміщують витрати, пов'язані з утриманням адміністративно - управлінського персоналу підприємства, а також утриманням та експлуатацію основних засобів загального виробничого призначення, охорону праці та техніку безпеки персоналу та інші.

Адміністративні витрати складають в середньому 200% від основної заробітної плати основних виробничих робітників та розраховуються за формулою:

$$AB = 3O \cdot \frac{\beta}{100}, \text{ грн.}, \quad (5.4)$$

де β - % адміністративних витрат.

$$AB = 275 \cdot \frac{200}{100} = 550 \text{ грн.},$$

Виробнича собівартість виробу (C_B) визначається за формулою :

$$C_B = M + 3O + 3Д + BC + 3BB, \text{ грн.} \quad (5.5)$$

$$C_B = 11250 + 275 + 110 + 170,5 + 1100 = 12905,5 \text{ грн.}$$

Витрати на збут складаються з витрат, пов'язаних з реалізацією продукції і вміщують витрати на тару та тарні матеріали, транспортування готової продукції, рекламу, витрати на маркетингові дослідження та інші.

Витрати на збут складають 2% від виробничої собівартості і розраховуються за формулою :

$$BЗ = C_B \cdot \frac{\gamma}{100}, \text{ грн.}, \quad (5.6)$$

де C_B – собівартість виробнича, грн;

γ - % витрат на збут .

$$BЗ = 12905,5 \cdot \frac{2}{100} = 258,11, \text{ грн.},$$

Собівартість продукції представляє вартісну оцінку природних ресурсів таких як сировина, основні матеріали, паливо, енергія, основні засоби, трудові ресурси, а також інші витрати на виробництво та продаж продукції. Собівартість відображає величину поточних витрат, які мають виробничий, некапітальний характер та забезпечують процес простого відтворення. Собівартість є економічною формою відтворення спожитих факторів виробництва. Повна собівартість виробу розраховується за формулою :

$$C = M + 3O + 3Д + BC + 3BB + AB + BЗ, \text{ грн.}, \quad (5.7)$$

$$C = 11250 + 275 + 110 + 170,5 + 1100 + 550 + 258,11 = 13438,61 \text{ грн.}$$

Прибуток складає 30% від повної собівартості і розраховується за формулою :

$$П = C \cdot \frac{P}{100}, \text{ грн.}, \quad (5.8)$$

де Р – рентабельність виробу, %.

$$П = 13438,61 \cdot \frac{30}{100} = 4031,583, \text{ грн.}$$

Собівартість продукції є економічним та фінансовим показником діяльності підприємства, характеризує ефективність управління і є основою розрахунку ціни. Ціна визначається за формулою:

$$Ц = C + П, \text{ грн.}, \quad (5.9)$$

де Ц – ціна виробу, грн.;

С – собівартість виробу, грн.;

П – прибуток, грн.

$$Ц = 13438,61 + 4031,583 = 17470,193 \text{ грн.}$$

Податок на додану вартість згідно законодавства становить 20% від оптової ціни і розраховується за формулою :

$$ПДВ = Ц \cdot \frac{H_{\text{пдв}}}{100}, \text{ грн.}, \quad (5.10)$$

де $H_{\text{пдв}}$ – норматив податку на додану вартість, %.

$$ПДВ = 17470,193 \cdot \frac{20}{100} = 3494,038 \text{ грн.}$$

Ціна продажу виробу розраховується за формулою:

$$Ц_{\text{пр}} = Ц + ПДВ, \text{ грн.} \quad (5.11)$$

$$Ц_{\text{пр}} = 22023.284 + 4404.657 = 26427.941 \text{ грн.}$$

Калькуляція собівартості і ціни продукції наведена в таблиці 5.2.4.

Таблиця 5.2.4 – Калькуляція собівартості і ціни виробу

Статті витрат	Сума, грн
Сировина і основні матеріали	11250
Основна заробітна плата основних виробничих робітників	275
Додаткова заробітна плата основних виробничих робітників	110
Відрахування на соціальні заходи з заробітної плати основних виробничих робітників	170,5

Продовження таблиці 5.2.4

Загальновиробничі витрати	1100
Собівартість виробнича	12905,5
Адміністративні витрати	550
Витрати на збут	258,11
Повна собівартість	13438,61
Прибуток	4031,583
Податок на додану вартість	3494,038
Ціна продажу виробу	20964,231

Для композиційного матеріалу НБЦУ: вага $B_1=22\text{кг}$, повна собівартість $C_1=15000\text{грн}$, програма випуску $N=16\text{шт.}$

Для композиційного матеріалу з волокнами ВР273ВП: вага $B_2=17\text{кг}$, повна собівартість $C_2=12905,5\text{грн}$, програма випуску $N=16\text{шт.}$

$$\Delta B = B_1 - B_2, \text{ кг} \quad (5.12)$$

$$\Delta B = 22 - 17 = 5\text{кг}$$

$$Z = B \cdot N, \text{ грн;} \quad (5.13)$$

де Z – вага партії насадок ракетного двигуна

$$Z_{\text{НБЦУ}} = 22 \cdot 16 = 352 \text{ кг};$$

$$Z_{\text{ЭК-64}} = 17 \cdot 16 = 272 \text{ кг}.$$

За рахунок зниження ваги НБЦУ на 80кг завдяки використанню матеріалу з волокнами ВР273ВП, зменшуються витрати на енергоресурси та з'являється можливість збільшити корисне навантаження.

Звідси ми можемо розрахувати економічний ефект від впровадження нової розробки:

$$E = (C_2 \cdot K_{e.p}) - C_1, \text{грн}; \quad (5.14)$$

C_2 – повна собівартість;

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

C_1 – собівартість до удосконалення.

$$E = (20964,231 \cdot 1,5) - 15000 = 16446,34 \text{ грн.}$$

Впровадження нових матеріалів та технології для теплових двигунів, дає змогу значно підвищити економічний ефект на виробництві, що видно з розрахунків, з попередньої собівартості яка складає 15000грн до нової собівартості у 20964,231грн, ми очікуємо отримати економічний ефект від впровадження нової технології в розмірі 16446,34грн. Також від впровадження нових технологій та матеріалів на 50% збільшився експлуатаційний ресурс.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В дипломній роботі досліджуються і розробляються технології вироблення композиційних матеріалів системи Nb-Ti-W

6.1 Аналіз потенційних небезпек :

- а) термічні опіки через мимовільний дотик нагрітої заготовки;
- б) механічні травми при обробці заготовки та виготовлення з неї зразків;
- в) ураження електричним струмом через порушення правил електричної безпеки, що може призвести до електричних травм або летального наслідку;
- г) травмування органів зору іскрами при виготовленні заготовки методом точкової зварки;
- д) негативний вплив світлового потоку мікроскопа при вивченні структури зразків;
- е) хімічні опіки при травленні зразків через необережному поводженні з хімічними реактивами;
- є) незадовільні параметри повітряного середовища у лабораторії через неефективну роботу систем опалення та вентиляції;
- ж) незадовільні параметри освітлення через вихід з ладу та підвищеної запиленості освітлюючи приладів;
- з) можливість загорянь через порушення правил пожежної безпеки або коротких замкнень, що можуть призвести до пожежі;
- л) неправильні дії персоналу в умовах надзвичайної ситуації, фякі можуть призвести до паніки;

6.2 Заходи забезпечення техніки безпеки

а) для виключення термічних опіків внаслідок попадання розпеченого рідкого металу на тіло робітника і забезпечення нормальних умов праці передбачено комплектування працівників лабораторії одягом спеціальною для захисту від підвищених температур типу БТ і за ГОСТ 12.4.011-89 « средства защиты работающих», спеціальними рукавицями за ГОСТ20010-93 «печатки резиновые. Технические условия», захисні окуляри ГОСТ Р 12.4.013-97 « Очки защитные». Для захисту обличчя операторів установок контактного зварювання передбачено використання щитків типу ННП-С-702VI за ГОСТ 12.4.035-78;

б) для виключення механічних травм при роботі на шліфувальних і заточувальних верстатах необхідно:

- установка абразивних кіл на верстатах повинна проводитися тільки спеціальною проінструктованими наладчиками;

- перед установкою коло ретельно оглянути на відсутність тріщин; круги повинні мати штамп або наклейку про випробування - порядковий номер кола та підпис особи, відповідальної за випробування. Використання кіл без відмітки про випробування забороняється. Дані про випробування кожного кола записується в журнал випробувань кола;

- у кожного верстака вивішати із зазначенням допустимої роботи окружної швидкості використовуваних кіл і частоти обертання шпинделя верстата в хвилину;

- обертається абразивний круг, виступаючі кінці шпинделя і кріпильні деталі захистити захисними кожухами;

- при заточуванні інструменту не ставати проти поворотного круга. Стояти дозволяється поза небезпекою обертання круга(каменя);

- при роботі на верстаті підводити деталь необхідно плавно, не допускати ударів об коло;

- при виявленні биття кола, необхідно зупинити верстат і встановити несправність;

- при заточуванні інструмент надійно тримати в руках, щоб не допустити заклинювання його між подручником і кругом. Під час роботи заточувальних верстатів не допускається: зачищати коло і торкатися його руками;

- користуватися несправними і невипробуваними колами; відкривати захисні кожухи кола, вала, шпинделя, ременя, тощо;

- одягати, знімати і перекидати ролики;

- забороняється працювати без захисного екрана або окулярів, якщо верстат не заземлений і не обладнаний установкою для відсмоктування абразивного пилю. ГОСТ 12.3.028-82 «Процессы обработки абразивными и ельборовим інструментом».

в) для виключення ураження електричним струмом електрообладнання має відповідати ГОСТ 12.2.007.0-75 «Вироби електротехнічні. Загальні вимоги безпеки», ГОСТ 12.2.003-91 «Обладнання виробниче. Загальні вимоги безпеки» та ПУЄ- 207. Експлуатація електрообладнання та електроустановок має проводитися відповідно «правила технічної експлуатації електроустановок» (ПУЄ), «Правила технічної експлуатації електроустановок» (ПУЄ), «Правила технічної експлуатації електроустановок споживачем» та « Правила техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачем».

Під електричною безпекою розуміється система організаційних заходів і технічних засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого і небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля і статичної електрики. [28].

Навіть при розвиненій системі захисних заходів не слід вважати, що вони створюють умови абсолютної безпеки. У всіх випадках необхідно високоякісне виконання електричних установок і періодичний контроль їх, підтримання якісного стану ізоляції, висока дисципліна персоналу і

дотримання правил безпеки.

Небезпека травмування при роботі з електроустаткуванням може виникнути в наступних випадках:

- від доторкання до неізольованих проводів, контактів різного устаткування, що знаходиться під напругою;
- від доторкання до корпусів машин і апаратів, які опинилися під напругою випадково, в результаті пошкодження ізоляції;
- від близькості людини де впав на землю провод, що знаходиться під напругою.

Основними заходами захисту в цих випадках є забезпечення недоступності струмоведучих частин від випадкового доторкання, застосування захисного відключення, застосування індивідуальних засобів захисту та інші. Огорожа струмоведучих частин повинно бути передбачено конструкцією електроустаткування і є його складовою частиною. Таку конструкцію має більшість що випускаються промисловістю електричних машин, апаратів і приладів, у яких корпусу, кожухи і оболонки надійно захищають струмопровідні частини від доторкання.

При спорудженні електроустановок неізольовані дроти і шини, а також прилади та апарати, що мають незахищені струмопровідні частини, поміщають в спеціальні ящики, шафи, камери та інші пристрої, що закриваються суцільними або сітчастими огороженнями. Розміщення струмоведучих частин на недоступній висоті виробляють в тих випадках, коли ізоляція і захист їх виявляються неможливими чи недоцільними [29].

Значення електричного струму що проходить через тіло людини є основним чинником, що обумовлює результат ураження. Разом з тим великий вплив надає тривалість дії струму, його частота, а також інші фактори. Тривалість проходження струму через організм істотно впливає на результат поразки, ніж тривалу дію струму, тим більша ймовірність важкого або смертельного результату.

г) для виключення травмування органів зору іскрами при контактному зварюванні передбачено використання засобів індивідуального захисту.

До них відносяться : захисні окуляри, щитки наголовні.

д) для виключення негативного впливу світлового потоку мікроскопа передбачено: використання світофільтрів (зелених, жовтих, синіх), обираються індивідуально.

е) для виключення хімічних опіків передбачено:

- зберігання кислот у місцях, де можливе їх стикання з деревиною та іншими речовинами органічного походження (для нейтралізації розлитих кислот місця їх зберігання необхідно забезпечувати готовими розчинами крейди, вапна або соді);

- під час зберігання азотної та сірчаної кислот треба вжити заходів до недопущення стікання їх з деревиною та іншими речовинами органічного походження. Концентровану азотну кислоту не дозволяється розливати у скляні сулії;

- під час роботи використовувати гумові рукавиці ГОСТ 20010-93 «Перчатки резиновые технические. Технические условия», окуляри «Очки защитные» ГОСТ Р 12.4.013 -97, респіратор ГОСТ 12.4.028 -78 ССБТ. Респіратори ШБ-1 «Лепесток». Технические условия (с Изменением 1,2), спеціальний одяг ГОСТ 12.4.011-89 «Средства защиты работающих» ;

- мати поблизу нейтралізуючі речовини, аптечку, джерело проточної води.

6.3 Заходи забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці

є) параметри повітряного середовища в приміщенні дослідницької лабораторії. Мікроклімат виробничих приміщень, в основному, впливає на тепловий стан організму людини і його теплообмін з навколишнім середовищем. Основним нормативним документом, який визначає параметри мікроклімату виробничих приміщень, є ГОСТ 12.005-88. В основу принципів нормування параметрів мікроклімату покладена диференціальна оцінка оптимальних та допустимих метеорологічних умов в робочій зоні залежно від теплової характеристики виробничого приміщення, категорії робіт по ступеню тяжкості і періоду року.

Для створення нормальних умов праці, необхідно забезпечити не тільки комфортні метеорологічні умови, але і необхідну чистоту повітря: установка спліт-системи, системи водяного опалення, які повинні забезпечувати норми, які встановлені у ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Общесанитарно - гигиенические требования к воздуху раб очей зоны» та ДНС 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми параметрів мікроклімату». Внаслідок виробничої діяльності в повітряне середовище приміщень можуть надходити різноманітні шкідливі речовини, які використовуються в технологічних процесах. Швидкість повітря також впливає на розподіл шкідливих речовин в приміщенні. Повітряні потоки можуть розповсюджувати їх по всьому об'єму приміщення, переводити пил з осілого стану у зважений стан. Під час впливу високої температури повітря, інтенсивного теплового випромінювання є можливість перегріву організму людини, котрий характеризується підвищенням температури тіла, яким потовиділенням, прискоренням пульсом і диханням, різкою слабкістю, запамороченням, а в тяжких випадках появою судорог і виникненням теплового удару.

Заходи та засоби попередження забруднення повітря робочої зони:

- удосконалення технологічних процесів та устаткування;
- герметизація виробничого устаткування, робота технологічного устаткування під розрідженням, локалізація шкідливих виділень за рахунок місцевої вентиляції та ін. засобів;
- нормальне функціонування систем опалення, загальнообмінної вентиляції, кондиціонування повітря, очищення викидів;
- попередні та періодичні медичні огляди робітників, які працюють у шкідливих умовах, профілактичне харчування, дотримання правил особистої гігієни;
- контроль за вмістом шкідливих речовин у повітрі робочої зони;
- використання засобів індивідуального захисту. [30]

ж) параметри виробничого освітлення та підвищеної запиленості освітлюючи приладів.

Для створення сприятливих умов роботи, що виключають швидке стомлення очей, виникнення професійних захворювань, нещасних випадків та сприяють підвищенню продуктивності праці та якості продукції, виробниче освітлення повинне відповідати наступним вимогам:

- створювати на робочій поверхні освітленість, відповідну характеру зорової роботи, не нижче встановлених норм;
- забезпечити достатню рівномірність і постійність рівня освітленості у виробничих приміщеннях, щоб уникнути частою переадаптації органів зору;
- не створювати на робочій поверхні різких і глибоких тіней (особливо рухомих);
- забезпечити достатній для відмінності деталей контраст освітлюваних поверхонь;
- не створювати небезпечних і шкідливих виробничих факторів: шум, теплові випромінювання, небезпека ураження струмом, пожаро- і вибухонебезпечність світильників ;
- має бути надійним і простим в експлуатації, економічним і естетичним.

Залежно від джерела світла виробниче освітлення може бути природним і штучним.

Природне освітлення підрозділяється на: бічне - здійснюване через світлові отвори в зовнішніх стінах, та верхнє - здійснюване через ліхтарі і світлові отвори в дахах і перекриттях, комбіноване - поєднання верхнього і бічного освітлення.

Штучне освітлення передбачається у всіх виробничих і побутових приміщеннях, де недостатньо природного світла, а також для освітлення приміщень в темний період доби.

6.4 Заходи з пожежної безпеки

з) горюча речовина і окислювач, за певних умов утворюють (вибухонебезпечне) середовище. Залежно від агрегатного стану та ступеня подрібненості речовин, горюче середовище може утворюватися твердими речовинами, легко займистими, горючими рідинами, горючим пилом та горючими газами за наявності окислювача. Процес горіння призводить до пожежі.

Пожежа - неконтрольоване горіння поза спеціальним вогнищем, що розповсюджується в часі та просторі. Для ліквідації пожежі у початковій стадії їх розвитку силами персоналу об'єктів застосовуються первинні засоби пожежогасіння.

До них відносяться: вогнегасники, пожежний інвентар (покривало з негорючого з теплоізоляційного полотна, ящики з піском, бочки з водою, пожежні відра, совкові лопати, ломы, сокири тощо), системи автоматичного пожежогасіння.

1 Клас пожежі А.

2 Категорія приміщення за вибухопожежною та пожежною небезпекою –Д.

3 Первинні засоби пожежогасіння:переносні порошкові вогнегасники(1шт. 10л) або автоматичні системи сигналізації.

Автоматичні пожежні сповіщувачі реагують на фактори, що супроводжують пожежу:підвищення температури, дим,полум'я. Своєчасне виявлення ознак займання та виклик пожежних підрозділів дає змогу швидко локалізувати осередки пожежі та вжити заходи щодо її ліквідації,а отже,створює можливість суттєво зменшити обсяги заподіяної шкоди. Найшвидшим та найнадійнішим засобом сповідування про виникнення пожежі вважаються установки електричної пожежної сигналізації (ЕПС). Залежно від схеми з'єднання розрізняють променеві (радіальні) та кільцеві установки ЕПС. В установках ЕПС можуть обладнуватися адресовані та не адресовані пожежні сповіщувачі.

Неадресованим вважається автоматичний сповіщувач, який реагує на фактори, що супроводжують пожежу в місці його встановлення та формує сигнал про виникнення пожежі в захищеному приміщенні без зазначеного свого номера (адреси). Адресований сповіщувач постійно або періодично активно формує сигнал про стан пожежонебезпечності у захищуваному приміщенні та про власну працездатність із зазначенням свого номера (адреси). Адресовані пожежні сповіщувачі можуть використовуватися в установках ЕПС як променевого, так і кільцевого типу. Кількість приміщень, обладнаних одним шлейфом з адресованими сповіщувачами, обмежується лише технічними можливостями приймально-контрольних приладів. В одному приміщенні слід встановлювати не менше двох не адресованих або один адресований пожежний сповіщувач.

Одним з основних елементів установок ЕПС є пожежні сповіщувачі. Розрізняють сповіщувачі ручної та автоматичної дії. Ручні пожежні сповіщувачі приводяться в дію натисканням на кнопку. Вони, як правило, використовуються для подачі сигналу про пожежу з території підприємства.

Усередині будівлі вони можуть застосовуватися як додатковий технічний засіб автоматичної пожежної сигналізації. Учні пожежні сповіщувачі обладнують на стінах і конструкціях на висоті 1,5м від підлоги(землі) у легкодоступних місцях.

Автоматичні пожежні сповіщувачі реагують на фактори, що супроводжують пожежу: підвищення температури, дим, полум'я.

Вони підрозділяються на:

- теплові автоматичні пожежні сповіщувачі ДТЛ, ІТМ, ПОСТ-1;2, МДПІ-028, ІП 105-2/1;
- димові автоматичні пожежні сповіщувачі ІДФ-М, ДПІ-1, ІДП-2;
- світлові автоматичні пожежні сповіщувачі СІ-1, ДПІД, АПІ.

Застосування набувають комбіновані сповіщувачі (КІ), які контролюють відразу кілька показників, наприклад, температура та дим, а також ультразвукові сповіщувачі (ДУЗ-4), які реагують на зміну характеристик ультразвукового поля в захищуваному приміщенні. Завдяки високій чутливості ультразвукові сповіщувачі (датчики) можуть поєднувати пожежні та охоронні функції.

Вид автоматичного пожежного сповіщувача вибирають з урахуванням призначення захищуваних приміщень, пожежної характеристики матеріалів, що в них розташовуються, первинних ознак пожежі та умов експлуатації. Для адміністративних, побутових і громадських приміщень та споруд, залежно від їх призначення, рекомендуються димові, теплові або світлові пожежні сповіщувачі.

Для ліквідації загорянь адміністративні, побутові і громадські приміщення та споруд на кожному поверсі повинні мати не менше двох переносних(порошкових, водопінних або водяних) вогнегасників з масою заряду вогнегасної речовини 5кг і більше. Крім того, слід передбачати по одному вуглекислому вогнегаснику з величиною заряду вогнегасної речовини 3кг і більше:

- на 20 м² площі підлоги в таких приміщеннях: офісні приміщення з ПЕОМ, комори, електрощитові, вентиляційні камери та інші технічні приміщення;

- на 50 м² площі підлоги приміщень архівів, машзалів, бібліотек, музеїв.

Додатково вищевказані приміщення можуть оснащуватися аерозольними водопінними вогнегасниками з масою заряду вогнегасної речовини 400г і більше. Коли від пожежі захищаються приміщення з ЕОМ, телефонні станції, музеї, архіви тощо, слід враховувати специфіку вогнегасних речовин у вогнегасників, які призводять під час гасіння до псування обладнання. Ці приміщення рекомендуються оснащувати вуглекислотними вогнегасниками з урахуванням гранично допустимою концентрації вогнегасної речовини.

Для гасіння пожежі у адміністративних приміщеннях можуть застосовуватися спринклерні та дренчерні установки, модульні установки, у яких використовуються вогнегасні порошки (САМ 3 та інші.), а також стаціонарні блоки вуглекислотного пожежогасіння (ПО-73).

6.5 Заходи із забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях

л) Надзвичайна ситуація (НС) – порушення нормальних умов життя і діяльності людей на об'єкті або території, спричинено аварією, катастрофою, стихійним лихом, епідемією, великою пожежею, застосуванням засобів ураження, що призвели або можуть призвести до людських матеріальних втрат.

Класифікація НС :

- НС техногенного характеру;
- НС екологічного характеру;
- НС природного характеру;

- НС соціально-політичного характеру;
- НС військового характеру;

В дипломній роботі розглядається НС техногенного характеру – пожежа. Пожежа – поза регламентній процес знищування або пошкодження вогнем майна, під час якого виникають чинники, небезпечні для живих істот і довкілля.

При виникненні пожежі необхідно:

- повідомити міську пожежну охорону(зателефонувати 101);
- припинити усі роботи;
- приступити до гасіння пожежі наявними засобами пожежогасіння, які є на робочому місці (вогнегасник);
- негайно повідомити керівнику лабораторії;
- при необхідності відключити електроенергію;
- вивести з приміщення всіх людей (евакуація).

Висновки з розділу « Охорона праці» та підрозділу « Заходи з цивільної оборони».

а) для виключення термічних опіків передбачено комплектування працівників лабораторії одягом спеціальною для захисту від підвищених температур типу БТ і за ГОСТ 12.4.011-89 « средства защиты работающих», спеціальними рукавицями за ГОСТ20010-93 «печатки резиновые. Технические условия», захисні окуляри ГОСТ Р 12.4.013-97 « Очки защитные». Для захисту обличчя операторів установок контактного зварювання передбачено використання щитків типу ННП-С-702VI за ГОСТ 12.4.035-78.

б) для виключення механічних травм при роботі на шліфувальних і заточувальних верстатах необхідно: наявність захисного кожуха на крузі;

забороняється працювати без захисного екрана або окулярів, якщо верстат не заземлений і не обладнаний установкою для відсмоктування

абразивного пилю. ГОСТ 12.3.028-82 «Процессы обработки абразивными и ельборовим інструментом».

в) для виключення ураження електричним струмом електрообладнання має відповідати ГОСТ 12.2.007.0-75 «Вироби електротехнічні. Загальні вимоги безпеки», ГОСТ 12.2.003-91 «Обладнання виробниче. Загальні вимоги безпеки» та ПУЄ- 207. Експлуатація електрообладнання та електроустановок має проводитися відповідно «правила технічної експлуатації електроустановок» (ПУЄ), «Правила технічної експлуатації електроустановок»(ПУЄ), «Правила технічної експлуатації електроустановок споживачем» та «Правила техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачем».

г) для виключення травмування органів зору іскрами при контактному зварюванні передбачено використання засобів індивідуального захисту. До них відносяться : захисні окуляри, щитки наголовні. ГОСТ Р 12.4.013-97 « Очки защитные» , ГОСТ 12.4.011-89 « Средства защиты работающих».

д) для виключення негативного впливу світлового потоку мікроскопа передбачено: використання світофільтрів (зелених, жовтих, синіх), обираються індивідуально.

е) для виключення хімічних опіків передбачено, під час роботи використовувати гумові рукавиці ГОСТ 20010-93 « Перчатки резиновые технические. Технические условия», окуляри « Очки защитные» ГОСТ Р 12.4.013 -97, респіратор ГОСТ 12.4.028 -78 ССБТ. Респіратори ШБ-1 «Лепесток». Технические условия (с Изменением 1,2), спеціальний одяг ГОСТ 12.4.011-89 «Средства защиты работающих» ;

є) для створення нормальних умов праці, необхідно забезпечити не тільки комфортні метеорологічні умови, але і необхідну чистоту повітря: установка спліт-системи, системи водяного опалення, які повинні забезпечувати норми, які встановленні у ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ.

Общесанитарно - гигиенические требования к воздуху раб очей зоны» та ДНС 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми параметрів мікроклімату».

ж) для створення сприятливих умов роботи, що виключають швидке стомлення очей, виникнення професійних захворювань, нещасних випадків та сприяють підвищенню продуктивності праці та якості продукції, виробниче освітлення повинне створювати на робочій поверхні освітленість, відповідну характеру зорової роботи, не нижче встановлених норм.

л) При виникненні пожежі необхідно:

- повідомити міську пожежну охорону(зателефонувати 101);
- припинити усі роботи;
- приступити до гасіння пожежі наявними засобами пожежогасіння, які є на робочому місці (вогнегасник);
- негайно повідомити керівнику лабораторії;
- при необхідності відключити електроенергію;
- вивести з приміщення всіх людей (евакуація);

ВИСНОВКИ

В результаті даної роботи було встановлено що:

- заміна сплаву НБПЛ на сплав НБЦУ істотно зменшує швидкість знеміцнення КМ в цілому;
- зменшення товщини прошарку титану підвищує міцність з'єднань волокон з матрицею;
- при нагріванні даного композиційного матеріалу відбувається розчинення ніобію в титановій прошарку, в результаті чого підвищується міцність КМ при високих температурах експлуатації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Композиционные материалы в машиностроении / Пилиповский Ю.Л., Грудина Т.В., Сапожникова А.Б. и др. - К.: Техника, 1990. - 141 с.
2. Способ изготовления листовых армированных металлических материалов: А.с. 311513, СССР, МКИ³ В 23к 11/06. / Натапов Б.С., Банас Ф.П. Александров Б.В. (СССР).- № 1331339/25/27; Заявлено 28.04.69; Опубл. 06.10.71, Бюл. № 24 – 2 с.
3. Высокотемпературный композиционный материал с металлической матрицей / Банных О.А., Поварова К.В., Кутенков В.А. и др. // Сб. науч. Тр. “Композиционные материалы”. – К.: Ин-т электросварки им. Е.О. Патона. - 1991. - С. 63 - 67.
4. Petrasek D. W., Mc. Danals D. L. Fiber-Reinforced Superalloy Composites Provide an Added Performance // Edge-Metal Progress. - 1986 - Vol.130, № 2, P. 27 - 31.
5. Изготовление и структура графитовых композитов из волоконно-карбидной матрицы / Е.И. Холодилова, А.А. Хостунков, С.Т. Милейко. // Технология разрушения механических композитов - Черногловка: Россия Композит - 1992.- С. 38-48.
6. Sauthhoff G. Интерметаллические сплавы - обзор новых разработок материалов для структурных применений в Западной Германии // Интерметаллические сплавы- 1990. -Р. 855-861.
7. Келли А. Высокопрочные материалы. - М.: Мир, 1976. - 261 с.
8. Структура и свойства композиционных материалов / Портной К.И., Салибеков С.Е., Светлов И.Я. и др. - М.: Машиностроение, 1979. - 255 с.
9. Милейко С.Т., Казьмин В.И. Получение композитов методом внутренней кристаллизации // Механика композитных материалов. - 1991. - №5. - С. 898-908.

10. Мілейко С.Т., Казмін В.І., Кристалізація волокон всередині матриці: новий спосіб виготовлення композитів // Дж. Матер. Наука - 1992. - т.27. - С. 2165-2172.
11. Стрижало В.А., Земцов М.П. Жесткость и прочность слоистых углепластиков при одноосном нагружении // Проблемы прочности (354) - 2000. - № 6. - С. 61 – 71
12. Ольшанецкий В. Ю., Дуднік Г.І., Писарський А.О. Підвищення механічних властивостей однофазних матриць металевих композитів шляхом стабілізації дислокаційних меж атомами РЗМ. // Збір. наук. праць VIII Міжнар. наук.-техн. конф. “Нові конструкційні сталі та стопи і методи їх обробки для підвищення надійності та довговічності виробів”. - Запоріжжя: ЗДТУ. - 2000. - С. 50 - 53.
13. Карпинос Д.М., Тучинский Л.Б., Вишняков Л.Р. Новые композиционные материалы. - К.: Вища школа, 1977. - 310 с.
14. Мороз В.П., Писаренко В.А., Самелюк А.В. Особенности структуры и прочность, армированного вольфрамовыми и молибденовыми волокнами // Материалы VI Всесоюзной конференции по композиционным материалам. Том 1. Ереван: Ереванский государственный ун-т. 1987. С. 76-77.
15. Банас Ф.П. Разработка и исследование структуры и свойств листового жаропрочного армированного материала: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.320 / Днепропетровск. ДМЕТИ. - Днепропетровск, 1972. - 22 с.
16. Ольшанецкий В.Е, Лавренко А.С., Коробко А.В. О разупрочнении холоднодеформированных вольфрамо- и молибдено-рениевых сплавов при скоростном нагреве // Физика металлов и металловедение. - 1994. - Т. 77, №2 - С. 154 - 160.
17. Натапова А.Б., Рубан В.Т., Демешко В.В. К вопросу о структурной стабильности некоторых композиционных материалов // Новые конструкционные материалы и эффективные методы их получения: Сб. науч. труд. ЗМИ им. В.Я. Чубаря - К.: УМК ВО. - 1988.- С. 26-28.

18. Богатырев Ю.М. Скоростная электротермическая обработка тугоплавких металлов в вакууме // Термообработка при индукционном нагреве. - М.: Металлургия. - 1968. - С. 86-90
19. Кочергин К. А. Контактная сварка. - Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1987. - 240 с.
20. Банных О.А., Шефтель Е.Н. Перспектива создания суперсплавов на основе ниобия // 14 Менделеев. съезд по общ. и прикл. химии: Реф. докл. и сообщ. Том 2.- М.: -1989.- С. 16.
21. Некоторые свойства вакуумплавленного вольфрама в литом состоянии Гиршов и др. // Физ. и Химия обработки материалов. -1967- № 4 - С. 149 - 155.
22. Матусевич А.С. Композиционные материалы на металлической основе. - Мн.: Наука и техника, 1978. - 216 с.
23. Кесаев Т. М., Виниченко В. С., Натапова А. Б. Повышение пластичности прутков из порошковых вольфрамовых сплавов, упрочненных частицами ThO_2 // Тез. докл. Всесоюзн. науч.-техн. конф. "Новые конструкционные стали и сплавы и методы их обработки для повышения надежности и долговечности изделий". - Запорожье: ЗМИ им. В.Я. Чубаря. - 1980. - С. 54-55.
24. Гурарий А.И. Прочность концевых конструктивных элементов из металлических композиционных материалов в диапазоне температур 290 - 1600 К: Дисс... канд. техн. наук: 05.02.01. - К., 1987. -172 с.
25. Новые жаропрочные металлокомпозиты для сопловых блоков реактивных двигателей / Коваль А.Д., Ольшанецкий В.Е., Лавренко А.С., Виниченко В.С. // Технологические системы. - 2001. - № 3(9). – С. 68 - 71.
26. Исследование структурных изменений в композиционном материале ниобий-титан-вольфрам при термоциклировании / Виниченко В.С., Коробко А.В., Рубан В.Т., Новоселов С.М. // Материалы Междунар. конф. "Новые конструкционные стали и сплавы и методы их обработки для

повышения надежности и долговечности изделий”. -Часть 1. - Запорожье: ЗДТУ. - 1995.-С. 63.

27. <http://stalevarim.ru/pub/mirovoy-rynok-metallurgii-osnovnye-tendentsii/>

28. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці [Текст]: підруч. / В. Ц. Жидецький. — 3-тє вид., перероб. і доп. — Львів : Укр. акад. друкарства, 2006. — 336 с. — ISBN 966-8013-11-5

29. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Державний нормативний акт про охорону праці — Затверджено: Наказ Держнаглядохоронпраці від 09.01.1998 № 4. Дата введення 20.02.1998 р.

30. https://pidruchniki.com/92787/bzhd/povitrya_robochoyi_zoni