

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Фізико-технічний, інженерно-фізичний

(повне найменування інституту, назва факультету)

Фізичне матеріалознавство

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти (освітній ступінь))

на тему: «Дослідження можливостей методів формування жароміцних композицій-них матеріалів та розробка технології консолідації вольфрамових волокон з матрицею із жароміцного сплаву»

Виконав: студент 5 курсу, групи ІФ-219м

Спеціальності 132 Матеріалознавство,

Освітня програма (спеціалізація)

Прикладне матеріалознавство

Рижков Богдан Ігорович

(прізвище та ініціали)

Керівник Вініченко Валерій Степанович

(прізвище та ініціали)

Рецензент Волков Григорій Петрович

(прізвище та ініціали)

2020 рік

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри *Овчаренко*

Варне Юнниович

« » 20 року

Рижков Богдан Ігорович
(прізвище, ім'я, по батькові)

(прізвище, ім'я, по бацькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « » 20 року №

2. Строк подання студентом проєкту (роботи)

3. Вихідні дані до проекту (роботи)

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *Дослідження когнітивних матеріалів (ска); Матеріал та*

методики дослідження. Вибір методу копіювання відповідальних впадок і матрицею із мармірного скла при виготовленні деталей типу тонкісіння об'єктов. Унікально-скульптурні розрахунки; Охорона праці та безпека у надзвичайній ситуації;

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Матеріали що були використані в роботі; Вибрані графіки та
рівні і інтервали варіювання; Попів-решітка для оптимізації технічної
формування композиційного матеріалу; Картонери мікроструктури зразків
композиційного матеріалу кіос; Результати перевірки математичної моделі.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-3	Внісенко В.С., к.т.н., доцент, викладач кафедр ФЕМ		
4	Нестеров О.В. к.т.н., доцент, викладач кафедр ФЕМ		
5	Круглякова В.В., к.е.н., доцент, викладач кафедр ПТБ, Ч		
6	Іваць Л.В., нормоконтроль		

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вступ	05.09.20	
2	Аналіз літературних джерел	15.09.20	
3	Літературний огляд	05.10.20	
4	Матеріали та методи дослідження	25.10.20	
5	Визначення раціонального режиму іонно-плазмового озонування пер. середок	05.11.20	
6	Охорона праці і безпека в надзвичайних ситуаціях	15.11.20	
7	Формування висновків з магістерської роботи	25.11.20	
8	Оформлення магістерської роботи, нормоконтроль	05.12.20	
9	Взроща доповіді до комісії	15.12.20	

Студент(ка)

(підпис)

Римков Б.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Внісенко В.С.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 96 стор., 8 рисунків, 22 таблиці, 71 джерел.

Метою даної роботи є дослідження методів формування КМ для деталей типу тонкостінних оболонок, які працюють при температурах до 1300°C.

З метою встановлення закономірностей впливу технологічних параметрів методів формування на структуру і властивостей КМ здійснювали методом планування багатфакторних експериментів.

Обґрунтовано доцільність застосування для виготовлення насадків теплових двигунів із КМ методу контактного зварювання.

Запропоновані рекомендації дозволили встановити режимів їх одержання з точністю необхідною для виробничих умов. Застосування оптимальних режимів отримання КМ для виготовлення соплових насадків радіаційного охолодження дозволило зменшити вагу двигуна, а це дасть змогу збільшити вантажопідйомність засобу на 21 %.

ТЕМПЕРАТУРА, КОМПОЗИТНІ МАТЕРІАЛИ, ВЛАСТИВОСТІ,
СТРУКТУР, ЖАРОМІЦНІСТЬ, СТРУКТУРА, ХАРАКТЕРИСТИКИ,
МАТРИЦЯ, КОМПОЗИТИ, ВОЛОКНА, СПЛАВИ, ПОКРИТТЯ

ЗМІСТ

Вступ.....	8
1. Літературний огляд.....	10
1.1 Жароміцні сплави.....	12
1.2 Дисперсно-зміцнені сплави.....	13
1.3 Керамічні композиційні матеріали.....	18
1.4 Використання інтерметалідів в композиційних матеріалах.....	19
1.5 Волокнисті композити із металевою матрицею.....	20
1.6 Отримання волокнистих композитів із металічною матрицею.....	22
1.6.1 Традиційні методи отримання композитів із металевою матрицею.....	22
1.6.2 Отримання композитів методом внутрішньої кристалізації.....	23
1.6.3 Використання ниткоподібних кристалів для армування композиційних матеріалів.....	25
1.7 Методи об'єднання волокон та матриці.....	32
1.7.1 Отримання МКМ методами у порошкової металургії.....	32
1.7.2. Методи просочення та ливарні методи отримання КМ.....	33
1.8 Оцінка стану жароміцних композитів та вибір напрямків досліджень.....	37
2. Матеріали і методика досліджень.....	38
2.1 Матеріали досліджень.....	38
2.2 Методика формування композиційних матеріалів.....	39
2.3 Механічні випробування.....	40
2.4 Металографічні дослідження.....	40
Висновки до розділу.....	41
3 Вибір методу консолідації вольфрамових волокон з матрицею із жароміцного сплаву при виготовленні деталей типу тонкостінних оболонок.....	42

3.1 Теоретичний аналіз методів консолідації вольфрамових волокон з матрицею із жароміцного сплаву при виготовленні деталей типу тонкостінних оболонок.....	44
3.2 Оптимізація параметрів формування композиційного матеріалу методом роликового зварювання.....	44
3.2.1 Дослідження механічних властивостей композиційних матеріалів.....	50
Висновки до розділу.....	53
4. Аналіз потенційних небезпеки.....	54
4.1 Заходи щодо забезпечення безпеки, виробничої санітарії, гігієни праці та пожежної безпеки.....	57
4.2 Захист працівників у робочій зоні.....	58
4.3 Заходи з електробезпеки.....	59
4.4 Заходи безпеки при виконанні процесів дослідження.....	64
4.5 Заходи з виробничої санітарії і гігієни праці.....	66
4.6 Виробниче освітлення.....	68
4.7 Захист від механічних коливань.....	69
4.8 Акустичний шум.....	69
4.9 Вібрація.....	72
4.10 Електромагнітні поля і випромінювання.....	75
Висновки до розділу.....	77
5. Економічна частина.....	78
5.1 Тенденції розвитку світового ринку композиційних матеріалів.....	78
5.2 Техніко-економічні розрахунки.....	80
5.3 Характеристика продукції.....	80
5.4. Розрахунок економічної ефективності НДР.....	86
Загальні висновки.....	90
Перелік джерел посилання.....	91
Додаток А.....	96

ВСТУП

Створення високотемпературних матеріалів на сьогодні визначає можливості удосконалення теплових двигунів, оскільки економічність даних двигунів визначається робочою температурою конструкційних матеріалів.

Тому підвищення експлуатаційних температур даних матеріалів є одним з перспективних напрямків матеріалознавства. Підтвердженням цього є дослідження саме таких матеріалів, що можуть працювати при температурах 1300°C.

На сьогодні можливості підвищення робочих температур жароміцних сплавів вичерпані. Підвищити робочу температуру даних матеріалів можливе при зміцненні їх волокнами із важкотопких металів та сплавів на їх основі. Такі матеріали називають композиційними (КМ).

Використання КМ дозволяє знизити вагу конструкцій. Проте, для з'єднання матриці і волокон КМ необхідні значні тиск і температура, а це потребує застосування коштовного устаткування, яке не виробляється в Україні. Тому доречним є проведення досліджень щодо та раціонального використання методів формування КМ. Причинами, що стримують застосування методів формування КМ є недостатньо вивчені закономірності зміни властивостей КМ при їх формуванні. Тому дослідження можливостей методів формування є актуальною задачею.

Мета і задачі дослідження даної роботи. Метою даної роботи є дослідження методів формування КМ для деталей типу тонкостінних оболонок, які працюють при температурах до 1300°C.

Для цього було необхідно:

- дослідити структуру і властивості сплавів волокон та матриць і вибрати перспективні даного КМ;
- вивчити можливості і вибрати метод формування КМ з обраних складових;

– розробити рекомендації щодо уточнення режимів формування КМ вибраним методом.

Об'єктом дослідження були КМ для соплових насадок двигунів реактивної тяги.

Предметом дослідження були вплив технологічних параметрів методів формування на структуру і властивості КМ.

Методи дослідження. З метою встановлення закономірностей впливу технологічних параметрів методів формування на структуру і властивостей КМ здійснювали методом планування багатофакторних експериментів.

Практичне значення отриманих результатів. Обґрунтовано доцільність застосування для виготовлення насадків теплових двигунів із КМ методу контактного зварювання.

Запропоновані рекомендації дозволили встановити режимів їх одержання з точністю необхідною для виробничих умов. Застосування оптимальних режимів отримання КМ для виготовлення соплових насадків радіаційного охолодження дозволило зменшити вагу двигуна, а це дасть змогу збільшити вантажопідйомність засобу на 21 %.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

Відомо, що підвищення температури робочого газу в теплових двигунах дозволяє підвищувати їх коефіцієнт корисної дії, а відповідно знижувати витрати палива. Це показано на рисунку 1.1.

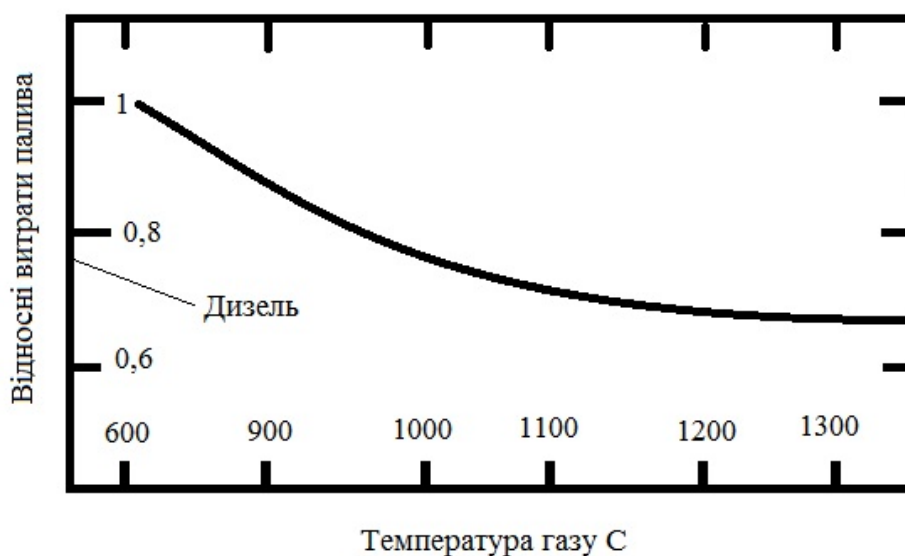


Рисунок 1.1 – Відносна витрата палива у залежності температури газу на входу до турбіни. [1]

Тому нові матеріали з більш високою температурою експлуатації займають особливе місце і серед них є КМ, що мають комплекс різних властивостей, поєднання яких, в одному матеріалі, дозволяє створювати унікальні конструкції. Внаслідок цього прогрес породжує необхідність розробки нових КМ.

Наступний огляд показує, що можливості традиційних методів підвищення характеристик жароміцних матеріалів близькі до вичерпання. Розглянемо це питання детально.

1.1 Жароміцні сплави

Сучасні плавкі сплави на основі нікелю мають такі властивості жароміцності, з однієї сторони, та міцності при низьких температурах, з іншої, котре як раз необхідне для робочих лопаток турбін. Воно досягається шляхом створення методами термообробки дисперсно-зміцненої структури на базі нікелевої матриці. Ці сплави мають достатньо високу пластичність, опір окисненню, та газовій корозії, стабільність мікроструктури та високі плавкі властивості. В поєднанні з такими конструктивними мірами, як створення термічного бар'єру за допомогою керамічного покриття, ефективне охолодження, нікелеві сплави забезпечують потрібність газотурбобудування, не будь все більш зростаючих вимог по економічності та зменшенню маси та габаритів двигунів у військовій авіації, не будь нікель, а також інші легувальні елементи дефіцитними матеріалами, не май людство перспективи вичерпання запасів мінерального палива не було б цієї проблеми.

Основна властивість жароміцних матеріалів - значна міцність визначається природою і розподілом зміцнювальних фаз. Це загальне положення найбільш повно розроблено для нікелевих сплавів ефективного зміцнення котрих досягається при виконанні ряду умов, забезпечуючих загальний мінімум обраної когерентної з матрицею фаз, геометрії та властивостей структури [5, 29]

Максимальна температура використання жароміцних сплавів заліза огорожується швидкістю дифузії компонентів, які входять у зміцнюючу фазу, коли ще недостатня швидка для деградації структури.

1.2 Дисперсно-зміцненні сплави на основі нікелю

В відмінності від старіючих сплавів, сплави з тим ж принципом зміцнення, але отриманні по іншій технології, в котрій не однорідна структура виникає у результаті не термообробки типу старіння, а іншими шляхами – прийнято називати дисперсно-зміцненими.

Цей напрямок в матеріалознавстві жароміцних сплавів інтенсивно розвивається, в його основі полягає організація неоднорідної структури введенням ультратонких частинок зміцнюючих фаз, зазвичай оксидів які не взаємодіють з металом матриці до температур 0,9 від температури плавлення [7, 20].

Матриця в цих сплавах, як і в старіючих сплавах, виступає основним елементом, який несе навантаження, включення служать для призупинення дислокацій в матриці. В якості зміцнюючих фаз використовують оксиди, котрі у порівнянні з іншими тугоплавкими з'єднаннями високі позначення вільної енергії утворення. Крім того, іноді використовують карбіди, нітриди, бориди і інтерметаліди.

Для отримання максимального ефекту зміцнення частинки зміцнюючої фази повинні мати розмір 0.01...0.05 мкм. Ефективне зміцнення досягається при 2-10 % зміцненої фази, тоді як в жароміцних сплавах об'ємний зміст виділень досягає 60 %, а це значно зменшує пластичність.

Розглянемо процес виробництва даних сплавів більш детально. Типовий процес отримання дисперсно-зміцнених матеріалів складається з отримання порошкової суміші матеріалів матриці і зміцнюючого оксиду, переробці порошку в компакту заготовку, придатну до подальшої деформаційної та термічної обробки заготовки із отриманням напівфабрикату.

Найбільш поширеними є дисперсійно-зміцненні сплави на основі нікелю і діоксида торія – ТД – нікель [7], та ВДУ –І, котрі при температурі 1200 °С мають більшу жароміцність ніж нікелеві сплави. Мінус цих матеріалів

в їх радіоактивності. Тому більш актуальні винайдені більш пізніше сплави ВДУ-2 та ВДУ-3 [3, 20] з нетоксичними зміцнювачами. Розміри часток зміцнюючої фази 100-600 А. Частки представляють собою тугоплавкі оксиди гафнію, цирконію, ітрію. Об'ємне вміст дисперсних частинок 2-5 %. Ці матеріали відрізняються високою стабільністю структури, так як відсутня коагуляція фаз зміцнення при температурах нагріву до 1100-1200 °С при тривалості 300-500 годин [18].

Основний недолік таких сплавів полягає в тому що матеріал матриці, будучи основним приймаючим навантаження елементом, стримує по суті робочу температуру, а висока дисперсність часток, необхідна для отримання високої жароміцності, суперечить вимогам високотемпературної стабільності.

В останнє десятиріччя швидко розвивається новий напрямок в технології отримання неоднорідних дрібнодисперсних матеріалів – механічне легування. Ідея цієї технологічної схеми надзвичайно проста: сплав отримується шляхом інтенсивного подрібнення суміші простих порошків у шаровому млині. Не торкаючись тут усіх процесів подрібнення частинок, холодного зварювання, дифузії т. ін., виділимо що корисним є побачений на відносно ранній стадії розвитку цієї технології ефект, пов'язаний з утворенням орієнтовної у рамках одного зерна структури. Пластична або волокниста форма неоднорідності легко орієнтується в одному напрямку шляхом екструзії заготовки, при цьому механічні властивості композиту є достатньо високими.

Ця технологічна схема в цей час використовується головним шляхом для отримання дрібнокристалічних та дрібнодисперсних структур, однак мають перші повідомлення про використанні цієї схеми для отримання багатоповерхневого орієнтованого композиту .

Направлено-кристалізовані евтектики у системах на основі металів

Кристалізація з плоским фронтом евтектичних сплавів призводить до утворення орієнтовної структури – цей факт знають з 1951 г. [6]. В останні приблизно 25 років він використовується для отримання композитів –

трапилось, що властивості дрібнодисперсних волокон або пластинок близькі до властивостей монокристалічних ниткоподібних кристалів.

Термодинамічні міркування говорять про можливість отримання на цьому шляху дуже стабільних при високій температурі структур, саме формування котрих проходить в умовах, близьких до рівноважних.

Повний огляд існуючих результатів дано у [54]. Основні зусилля були направлені на збільшення стабільності структур при термоцклованні і в полях температурного градієнта. З цією метою знадобилося використовувати леговану матрицю з дисперсійним зміцненням γ' -фазою. Заміна TaC на NbC дозволила збільшити об'ємну частку волокон та зменшити густину. Цей етап привів до розробки композиту $\gamma/\gamma' - \text{NbC}$, названого COTAC-74.

В наслідок відносно слабого опору повзучості цієї матриці при середніх температурах утворилася необхідність подальшого зміцнення матриці COTAC-74. Це потребує збільшення долі $\gamma'(\text{Ni}, \text{Al})$ – фази, що призводить за собою зменшення концентрації інших елементів, з ціллю схоронності структурної стабільності. Ці роботи призвели до розробки композиту COAC-744, використання якого розглядають французькі спеціалісти. Одночасно з описаною роботою раніш, фірма Дженерал Електрік займалася розробкою композитів γ/γ' -MC на основі системи Ni-TaC. Цей композит має волокна змішаного карбиду та має номінальний склад Ni-3.3 % Co-4.4 % Cr-5.8 % Al-8.1 Ta-0.54 % W-6.2 % Re-5.6 % V.

Значення величини міцності при розтягненні у діапазоні від номінальної температури до 1070 °C для різноманітних направлено-кристалізованих композитів представлені у таблиці 1.1 де порівнюють композити на основі кобальту і композити на нікелевій основі.

Матеріал COTAC-3 показує істотне поліпшення характеристик повзучості в порівнянні з супер сплавами при температурах більш 900 °C градусів, однак при діапазоні 750-850 °C, воно незначне. Крім того, в складних частинах деталей цей матеріал не може задовольняти потребам конструкторів.

Таблиця 1.1 – Міцність сплавів COTAC-3, COTAC-74 і COTAC-744 при різних температурах

Температура, °C	Міцність при розтягненні, МПа		
	COTAC-3	COTAC-74	COTAC-744
20	1020	1550	1505
800	540	1030	1170
1000	400	415	570
1070	350	287	406

Тому вибір потрібно віддати матеріалу COTAC-3, який має 1000-год. Тривалу міцність, порівняно з характеристиками супер сплавів на основі нікелю. Однак цей матеріал має слабкий опір термоциклюванню при температурах більш ніж 1000 °C. У таблиці 1.2 представленні потенційні робочі температури композитів розроблених у Франції. В порівнянні з робочими температурами сплавів IN100, DS200 і американських композитів NITAC13 з γ/γ' - δ . Ці температури відповідають часу до руйнування 1000 годин при напруженнях 150 МПа

Таблиця 1.2 – Робочі температури композитів розроблених у Франції.

COTAC-74	COTAC-744	NITAC13	γ/γ' - δ	DS200	IN100
1000	1045	1005	1000	965	945

На рисунку 1.1. представлені графіки питомої тривалої міцності на базі 1000 годин в залежності від температури композитів в порівнянні із кращими нікелевими сплавами. Можна сказати, що композити типу COTAC та NITAC мають кращі характеристики ніж супер сплави. Тому їх практичне використання не потребує значної зміни конструкції деталей.

Все раніш сказане показує, що робочі температури направлено кристалізованих евтектик на основі жароміцних металів, нікелю и кобальту,

не можуть бути підняті більше 1050-1070 °С, так як евтектичні температури в цих системах низькі і різноманітні зміцнюючі добавки тільки знижують її.

Потрібно виділити, що перспективи реального використання наведено-кристалізованих евтектик даного типу в цей час практично нульові із-за безнадійно малої працездатності процесів їх отримання.

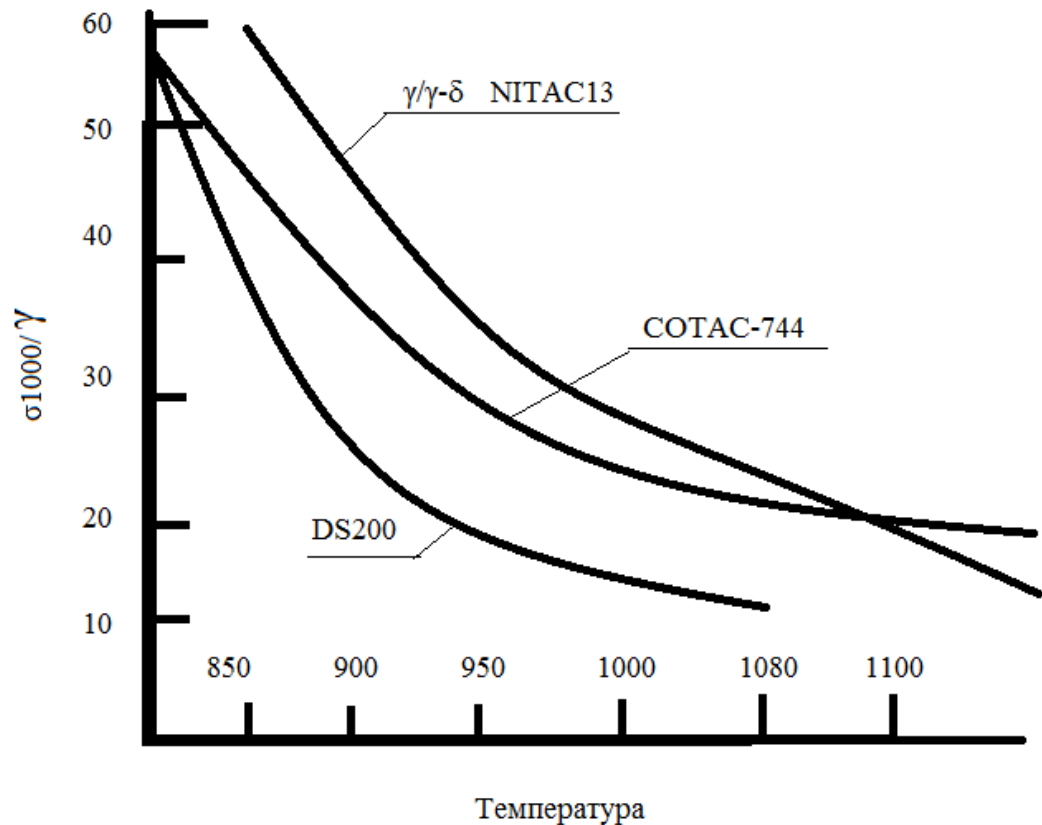


Рисунок 1.2.— Залежність тривалої міцності від температури композитів у в порівнянні з кращими нікелевими сплавами.

1.3 Керамічні композиційні матеріали

Кераміка як матеріал, який здатен майже не деформуватися пластично при дуже високих робочих температурах, має усі якості конструкційного матеріалу і лише одні недоліком – низьку тріщиностійкість, в наслідок чого є низька ударна в'язкість та низька термостійкість. Тому реальні використання кераміки як конструкційного матеріалу при високих температурах визначається успіхами в ділі подолання крихкості кераміки матеріалознавчими та конструкторськими прийомами.

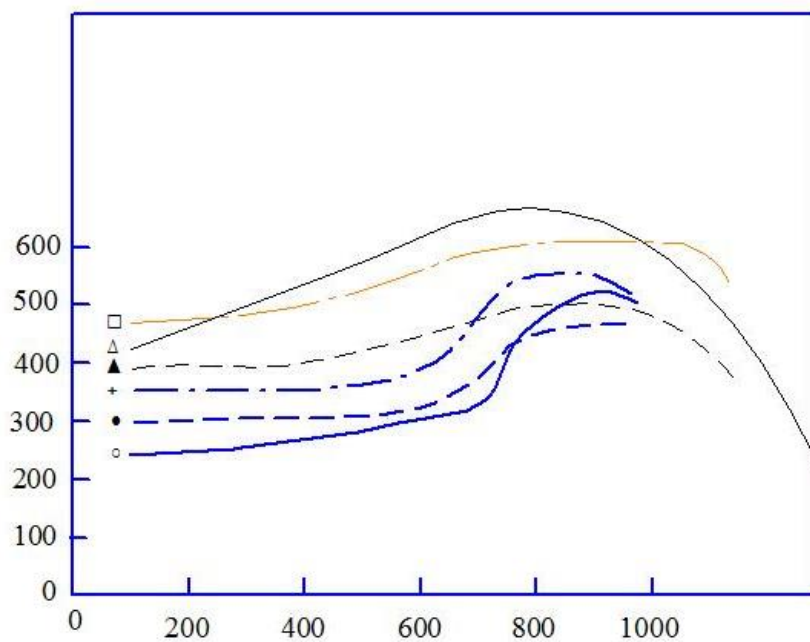
Розробки достатньо тріщиностійкості кераміки, у тому числі і шляхом волокнистого армування, в наш час, ведуться в багатьох лабораторіях. Отриманні результати вже дозволяють використовувати кераміку у ряді не сильно навантажених елементів конструкцій двигуна. Однак, говорити про більш масштабне використання кераміки у таких конструкціях, як робочі лопатки газових турбін, камери згоряння, дуже рано.

1.4 Використання інтерметалідів в композиційних матеріалах

За останні приблизно 20 років сплави на основі інтерметалідів методом поєднань двох-трьох металів із різними кристалічними решітками, поглиблено вивчалися і в деяких випадках вийшли на комерційний, та технічний рівень. Причинами підвищеного інтересу до цих сплавів є жаростійкість, деяких інтерметалідів, в тому числі і алюмінідів титану.

Майже уся увага у вивченні інтерметалідних сплавів була звернута на можливість зменшення крихкості, підвищення пластичності матеріалів. А саме, було показано, що малі добавки бору можуть підвищувати пластичність деяких інтерметалідів на основі нікелю. У цілому, можливість сплавів на

основі інтерметалідів можна назвати повністю вивченими. Але ясно одне, що керування характеристиками цих матеріалів через вплив на їх структуру металургійними способами можливо. Про це говорять результати багатьох досліджень інтерметалідів котрі проводять у Германії. Рисунок 1.3 є гарним прикладом цього положення. Можна побачити що можливості евтектичних сплавів на основі титану неможливо вважати вичерпаними на цей час.



○ – литий ; ● – 600° на повітрі 168 годин; □ – 650° на повітрі 336 годин
 ▲ – 700° на повітрі 168 годин; + – 1000° у аргоні 3 години
 Δ – 1000° в аргоні 168 годин

Рисунок 1.3 –Залежність міцності матеріалу TiAl із 45 % мас. Al після термообробок від температури випробувань.

По перше на сьогодні основна увага, прикута до тріщиностійкості цих сплавів при низьких температурах, по друге, до збереження високої міцності при робочих температурах. Ми бачимо що робочі температури для алюмінідів треба враховувати більш 1000 °С, алюмініди титану можуть здаватись ефективною заміною титанових сплавів при температурах 300-800 °С. Треба відмітити також групу тугоплавких силіцидів, котрі будучи такими ж

крихкими, як і інші інтерметаліди, переважають інші матеріали цього класу по робочим температурам.

1.5 Волокнисті композити із металевою матрицею

Однією з причин відносно швидкого розвитку робіт по дослідженню композитів із металевою матрицею у 70-і роки була надія на отримання швидкого результату у області жароміцних матеріалів. А саме, надії зв'язувались із композитами типу $\text{Ni-Al}_2\text{O}_3$, у яких оксид алюмінію використовується у формі монокристалічних ідеальних ниткоподібних кристалів [8, 22]. Потім пішли безперервні монокристалічні волокна Al_2O_3 у нікелі, композити типу Ni-C , Ni-SiC та інші. Паралельно розвивались композити з металевим дротом.

Надії залишились нереалізованими за причин як механічного характеру так і у зв'язку з термічною нестабільністю структури. Не зупиняючись тут на багаточисленних технологічних спробах по отриманню композитів $\text{Ni-Al}_2\text{O}_3$ при 1200°C в кращому випадку міцність даних КМ може бути не більш ніж 60 МПа

Легко здогадатись, що полікристалічні волокна Al_2O_3 типу FP не підходять для рішення цієї задачі через повзучість полікристалів при відносно низьких температурах (приблизно 1000°C).

У 70-х роках пройшов ряд експериментів із використанням неперервних волокон Al_2O_3 , засіб отримання котрих із розплаву був запатентовано у 60-х роках. Ці експерименти не надали будь яких надій на результат, може із-за недопустимо високої вартості монокристалічних ниток. В останні роки на західному ринку з'явилися сапфірові волокна типу Saphicon, однак надійних даних про використання їх у нікелевій матриці нема.

Не дивлячись на велику густину вольфраму, а також проблеми жароміцності при його використанні, композити на базі вольфрамової проволони із матрицею із нікелевих сплавів піддають уважному дослідженню. Причини тут у технологічній легкості, високій пластичності композиту і опору удару. Основа складності використання композитів системи Ni-W пов'язана із взаємодією на границі поділу.

Дифузія у системі Ni-W призводить до зниження температури кристалізації і зниженню міцності волокна. Деякі з рекомендованих дифузійних бар'єрів являють більш менш ефективними.

Використання вуглецевих волокон для армування нікелю і сплавів на його основі може призвести до отримання матеріалів із високою питомою міцністю для температур приблизно 1000 °C [9, 21].

В цих роботах достатньо більш точно досліджена жароміцність композитів і залежність міцності від часу витримки при високих температурах. Доказано що при температурі 980°C жароміцність визначається швидкістю окислення вуглецевих волокон із утворенням монооксида вуглецю у результаті дифузії кисню. При достатньо високих температурах та тривалих витримках вуглецеві волокна повністю вигорають, залишаючи пори у матриці. Витримка при 1100 °C на протязі 4-х годин призводить до рекристалізації вуглецевих волокон і падінню міцності. Композитний матеріал нікель-вуглецеве волокно має низьку стійкість у окисних середовищах. Протягом 5 годин при температурі 600 °C волокна повністю вигорають.

1.6 Отримання волокнистих композитів із металічною матрицею

В даній роботі виконано вичерпний огляд композитів із металічною матрицею. Зроблено акцент на одному з методів отримання, він вважається

традиційним а саме – заливка пучка волокон, і на нетрадиційному – отриманні композитів внутрішньою кристалізацією волокон у об'ємі матриці.

1.6.1 Традиційні методи отримання композитів із металевою матрицею

Деталі із КМ з металевою матрицею традиційно отримуються у процесі об'єднання волокон та матриці ливарними методами, або шляхом розділення процесу на отримання композитного напівфабрикату, зокрема композитного дроту, а потім її використовують для виготовлення деталей тим чи іншим шляхом.

Ідея використання напівфабрикатів безпосередньо позичена з технологічних схем отримання армованих пластиків через отримання волокнистих «препрегів». У випадку композитів із металевою матрицею істотним є то, що на стадії отримання «препрега» зв'язок між волокном і матрицею може бути недостатнім, саме тому наступна стадія грає значну роль з точки зору придання кінцевої міцності границі поділу між компонентами композиту.

Показовою в цьому сенсі є вельми розвинена у наш час технологія отримання плазмо-напиленого напівфабрикату. В наш час ця технологія вивчена достатньо добре, перевагою такого типу напівфабрикатів здалась пористість, котра при подальшому гарячому пресуванні забезпечує взаємне переміщення частинок, зачистку алюмінієвих частинок від оксидів для надійної дифузійної зварки на повітрі.

Іншим прикладом отримання металокомпозиційного «препрега» є отримання композитного дроту, що складається з тугоплавкого волокна та легкоплавкої матриці. Вона також відноситься до достатньо добре вивчених технологій.

1.6.2 Отримання композитів методом внутрішньої кристалізації

Волокнисті композити зазвичай отримують шляхом використання раніш заготовлених волокон та добавлення їх в матрицю. Такий метод достатньо добре задовольняє усі реальні потреби. Але це використання призводить до таких ускладнень, котрі вимагають інженерів утриматись від використання композиту в технічно привабливими проектах. Існує два приклади, перший відноситься до монокристалічних сапфірових волокон. Ці волокна характеризуються достатньо добрими властивостями високотемпературної міцності, але вони ніколи не були практично використані, так як їх вартість дуже висока. Другий приклад виявляє необхідність в альтернативних путях композитної технології наглядно існує.

Розглянутий приклад отримання композитів є прикладом такої альтернативи.

Метод винайшли Мілейко С.Т. і Казьмінім В.І. у 70-і роки, він називається методом внутрішньої кристалізації, оскільки полягає в кристалізації волокон із розплаву об'єму матриці. Матриця повинна мати безперервні канали які підлягають заповненню розплавом речовини волокна.

Метод внутрішньої кристалізації складає із трьох кроків:

- формування безперервних каналів у об'ємі матриці;
- просочення каналів розплавом речовини волокна;
- вирощування волокон шляхом кристалізації розплаву.

Очевидно що другий та третій кроки можуть бути використані якщо температура плавлення волокна менше температури плавлення матриці, і хімічна взаємодія між матеріалом матриці і розплаву достатньо мала. Дуже корисно, коли має місце змочування матриці розплавом речовини волокна.

Зокрема, ці вимоги задовольняються у випадку композита сапфір-молібден. Дійсно, температури плавлення речовин матриці і волокна становлять 2610 °C та 2070 °C, а це означає, кут змочування приблизно 15 °

при температурі 2100 °С. Хімічна взаємодія при температурі дуже мала. Тому сапфір-молібденовий композит зручний в якості моделі для опису методу.

Перший крок процесу отримання – утворення каналів у матриці. Він легко може бути виконаний у разі металевої матриці з використанням описаних нижче дій. По перше готується пошарова зборка фольги та волокон. Потім ця зборка підлягає дифузійній сварці при таких умовах, при котрих зазори між сусідніми волокнами не заповнюються матеріалом. Це призводить до структури, котра містить безперервні канали. Форма поперекового перерізу каналу визначає форму поперекового перерізу майбутнього волокна.

Конкретний набір параметрів дифузійної зварки залежить від матеріалу матриці і геометрії. Потрібно фіксувати температуру для обраної матриці, для молібдену 1200 °С.

Другий етап – просочення розплавом циліндричних каналів у матриці.

Якщо може бути змочування, цей процес йде сам по собі; коли молібденова матриця вноситься в розплав Al_2O_3 , температура при цьому повинна бути приблизно 2200 °С. Модель та експерименти показують можливість отримання пучка волокон з монокристалічною структурою по всій довжині каналу, починаючи з фронту початкової кристалізації. Кількісна модель процесу, котра відсутня у наш час, повинна давати величину критичного ефективного діаметру $d_{кр}$ каналу, таку що при заданому розмірі монокристалічні зародки виникають.

Така модель повинна також передбачати можливу стабільну орієнтацію монокристалічних волокон. Температурні залежності міцності отриманих методом внутрішньої кристалізації волокон у порівнянні з відповідним залежностями для волокон, отриманих модифікованим методом Степанова, показує приблизно однаковий рівень міцності всіх сапфірових волокон .

В наш час показана можливість використання методу внутрішньої кристалізації для отримання відносно легкоплавких волокон, безпосередньо у нікелевій матриці. Однак складності пов'язані з високою в'язкістю розплавів складних оксидів поблизу точки плавлення, і відносно низька міцність цих

волокон становлять нові задачі, що не вирішені до цього часу. Таким чином на сьогодні метод внутрішньої кристалізації, вигідний за багатьма обставинами, проте є складним для отримання композитів з нікелевою матрицею.

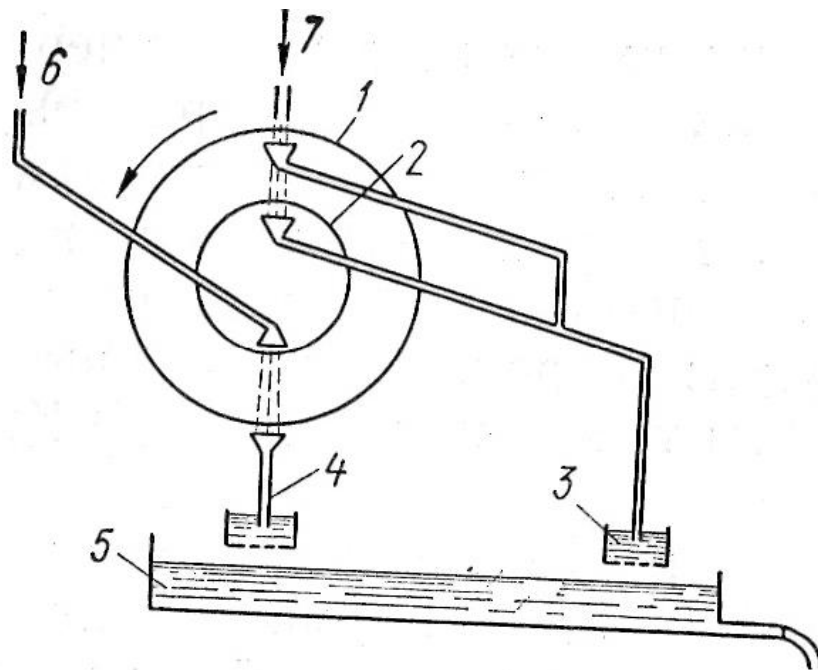
1.6.3 Використання ниткоподібних кристалів для армування композиційних матеріалів.

Виробництво даних КМ умовно зручно розділити на два процеси:

- 1) переробка волокон;
- 2) формування самого композиту.

Оскільки вирощені ниткоподібні кристали різні за розмірами, ступенем ідеальності кристалічної структури й поверхні, а також за механічними властивостями, то з початку відокремлюють годні кристали (вуси), розбирають їх, сортують за розмірами. Якщо посеред них є слабкі кристали з наростами, то їх потрібно потрошити, а обломки й щіпки видалити на миючих агрегатах, та іншими прийомами, прийнятими у текстильному виробництві.

Класифікація вусів за площею поперекового перерізу, по довжині або обом цим критеріям проводять рідинним або повітряним методом. Рідинне сортування використовують для тонких нитковидних кристалів (діаметром 1-5 мкм, довжиною 100-1000 мкм). Волокнина суспензія 6, складає 1-5% нитковидних кристалів, потрапляє у сепаратор (рис.1.4), головною частиною якого служать два ситових барабани котрі обертаються 1 і 2. Длинні волокна затримуються на ситі 1 і змиваються через пропускаємою через барабани водою 7 у збірник 3, а короткі волокна проходять через обидва сита і поступають до збірника 4. Сепаратор має набір сит, що дозволяти повторним пропусканням зібраних фракцій скоротити розходження вусів по довжині. На такому сепараторі вуса дуже ефективно оброблюються із SiC і Si₃N₄, у яких зазвичай дуже малий діаметр.



1,2 – ситовидні барабани; 3,4 – збірники волокон; 5 – злив води; 6 – волокна суспензія; 7 – вода [7]

Рисунок 1.4 – Схема сепаратора для нитковидних кристалів

На нитковидні кристали багатьох речовин необхідно наносити металічні покриття, щоб забезпечити змочування вусів розплавом матриці, передбачити пошкодження їх при переробці, виключити хімічну взаємодію із матрицею, придати їм орієнтування у КМ. Покриття полегшують процес отримання композиції та слугують зоною передачі напружень від матриці до волокон і таким чином, впливають на експлуатаційні властивості КМ цієї групи.

Є декілька варіантів нанесення покриття на вуса: хімічне парофазне осадження, розпилення, вакуумне випаровування, електроліз. Перші два методи найбільш розповсюджені. Хімічне парофазне осадження із карбінолів і галогенідів використовують, для нанесення на вуса із Ni, Ti, і W. Методом іонного бомбардування металевої мішені у середовищі аргону наносять покриття із ріноманітних металів та сплавів – нікелю, танталу, молибдену, хрому, ренію, міді, та інших. Орієнтуванню волокон та об'єднанню їх із матрицею надається особлива увага, тому що від розтушування і напрямку арматури залежить міцність КМ. Багато труднощів які з'являються у процесі

орієнтування, пов'язані із малою величиною вусів та їх великою кількістю у одиниці об'єму.

Існує дуже багато способів орієнтування волокон: екструзія, за допомогою рідкого носія, під дією магнітного або електричного поля; текстильні; вібраційні та інші. Дуже гарно себе показали такі методи як екструзія та витягування.

Нитковидні кристали диспрегують розчином амонію у воді, до котрого прибавляють тонкі порошки срібла, заліза, або інших металів. Отримана суміш екстрадується через насадку в слабко окислену ванну, де альгінам амонію стає желатиновим. Отриманий дріт має діаметр приблизно 6 мм, його потім додатково витягують та намотують на барабан. Після того як намотали декілька шарів, їх ріжуть по твірній барабану, потім шари знімають та укладають листами.

Коли такий лист висихає, він підлягає гарячому пресуванню, у процесі якого зв'язуючі речовини видаляються. Недоліком цього методу вважається його здатність тільки для низьких об'ємних утримань, коли волокна не перешкоджають одне одному орієнтуватися. При наступному гарячому пресуванні об'ємну частку волокон потрібно збільшити і довести до 30%.

У орієнтування нитковидних кристалів також можна використовувати діелектричну рідину. Якщо погрузити до такої рідини пластинчаті електроди у таку рідину та зробити між ними електричне поле, то в завершення рідини волокна поляризуються і розташовуються вздовж силових ліній. У якості одного із електродів можливо використовувати стрічку металевої фольги.

Коли на фольгу накопичуються волокна котрі розташовані паралельними рядами коли вона виходить із рідини. Висохнувши такі листи, укладають стопкою та ущільняють стопкою гарячим пресуванням.

Всі методи об'єднання ниткоподібних волокон із матрицею поділяють на твердофазні, процеси осадження, та рідинофазні.

Твердофазні методи об'єднання волокон матриці полягають у механічному об'єднанні матриці у вигляді порошку, або фольги з

нитковидними кристалами та подальшому гарячому пресуванні, дифузійній зварці або ж екструзії. Недолік методу екструзії – легко пошкодити нитковидні кристали під час укріплення.

Також не забезпечує гарних результатів спікання. Цей процес призводить до небажаної взаємодії компонентів КМ.

Процеси осадження полягають у хімічному та електричному осадженні молекул матриці на поверхні нитковидних кристалів через пару або розчин.

Металеві покриття малої товщини використовують для змочення або створення електропровідного шару на непровідному волокні. Товсті покриття після збільшення товщини можуть виконувати роль матриці. Хімічним осадженням з пари нитковидних кристалів Al_2O_3 отримують товсті покриття із нікелю, його сплавів із вольфрамом та ніхромом. Електричне осадження матриці використовується у процесі осаду вусів на електрод; при використанні арматури у форматі матів, котрі в подальшому піддають укріпленню при осадженні на пучок волокон суцільного покриття з заповненням усіх пустот.

Пустоти у матриці при електричному осадженні залишаються, це викликає необхідність подальшого укріплення волокон матриці.

Виготовлюючи електроосадженням КМ матрицею із нікелю і волокнами із вусів Al_2O_3 , спочатку методом іонної металізації в паровій фазі на нитковидні кристали наносять тонке провідне покриття з вольфраму. Потім з цього отримують напівфабрикат котрий потім ріжуть на стрічки, збираючи їх в стопку та піддають гарячому пресуванні.

Рідиннофазні процеси основані на використанні під час процесу формування КМ розплавлених матриць. Дуже часто використовують просочення, так як проникання розплавленої матриці у пучки вирівняних вусів або неорієнтованих матів не приводить до значних розривів армуючих волокон. Вдало просочують каркаси із вусів тільки такими металами, як Al, Cu, Ag.

Зокрема для інфільтрації алюмінію, упаковані пучки сапфірових волокон попередньо металізують ніхромовим покриттям, котре забезпечує

просочення волокон під дією капілярних сил. Якщо метал більш тугоплавкий, використовують гаряче пресування при наявності рідкої фази. Заготовки КМ котрі отримали можна прокатувати, витягувати або видавлювати у гарячому стані. Однак потрібно щоб вуси не руйнувалися, тому ці операції проводять дуже обережно. Із-за загрози руйнування складніше оброблювати композиції с хаотичним розташуванням волокон. КМ можливо екстродировати та прокатувати якщо волокна орієнтовані та не чіпляються між собою.

У випадку армування металів короткими дискретними волокнами малих діаметрів методи отримання КМ майже не відрізняються від технології армування вусами. Технологічність арматури можливо покращити у процесах об'єднання її із матрицею та формування композицій завдяки підвищенню діаметра та довжини волокон. При цьому можна прибрати такі специфічні для вус операції, як сортування, класифікація і нанесення покриття. По апаратному оформленню технологія отримання КМ, армованих волокнами, більш проста.

Розробляючи технологію отримання КМ методами пластичної деформації, лиття або порошкової металургії, потрібно враховувати природу волокна і матриці, та в відповідності з цим назначати різноманітні режими, такі як температуру, деформацію, час, швидкість, та інші. Існують наступні стадії для технологічних процесів отримання КМ: очищення поверхні волокон та матриці – мийка; чистка; сушка. Об'єднання волокон та матриці – зборка між собою шарів, що чергуються матричних елементів та волокон або приготування каркасу із волокон у ливарній формі під заливку матричним металом; отримання компактних КМ методами пластичної деформації, порошкової металургії або лиття, або комбінацією цих методів.

Поверхня волокон і матриці, як правило, забруднена різними оксидними плівками, сумішами різних рідин, технологічними змазками. Чим чистішим будуть контактні ділянки, тим більш міцною буде КМ, а іноді і буде можливість об'єднання волокна та матриці. Є декілька методів для очищення

волокон матриці застосовують: миття; хімічну та електрохімічну очистку; механічну очистку; очищення у органічних розчинах; ультразвукову очистку.

Очищення проводять зануренням у ванну, струменевої очистки, очищенням паром, циркуляцією миючого розчину, комбінованими прийомами із використанням ультразвуку та механічної очистки. В якості миючого середовища використовують розчини лугових металів, поверхнево-активних речовин (ПАВ), кислотні розчини та ін. Розчин каустичної соди особливо ефективний для очищення титанових сплавів. Алюміній, мідь та сталь вдало оброблюються в силікатних розчинах, при гідролізі котрих утворюється кремнієва кислота. Оскільки остання знаходиться в колоїдному стані, частки забруднень, змиті з поверхні металу, переходять у пил та повторно не осаджуються. Є один значний недолік, він полягає в тому що може початись роз'їдання поверхні котру очищують. Щоб цього не трапилося потрібні інгібітори. У якості інгібіторів можливо використовувати солі хромової кислоти (6-15 %) та азотну кислоту (20 %). Нейтральні миючі засоби – органічні розчини синтетичних мил – частіш за все використовують в якості поверхнево-активних добавок до лугових розчинів. При очищенні зануренням до ванни їх зміст 5-10 %, а при струйному очищенні 0,25-2,0 %. У ролі таких добавок виступають алкисульфати та алкилакрисульфонати, до котрих відносять препарати ОП-7, ОП-10. З кислотних розчинів використовують фосфорну кислоту з добавками поверхнево-активних речовин. Для очищення сталльної проволочки ефективен 2 % розчин соляної кислоти із добавками хромового ангидриду.

Хімічну та електрохімічну очистку проводять для видалення окалини й змиття жирів. Здійснюють їх у ваннах із використанням розчинів та кислот: мінеральної; органічної; пасивіруючих. Використовують також лугові розчини та сплави лугів. Хімічну очистку призводять зануренням, протиранням, струменевим методом. Електрохімічна очистка відрізняється більш, ніж хімічна, ефективністю. Із видів механічної очистки частіш усього

використовують шліфування, очищення дрововими щітками та дробоструменеву очистку.

Органічні розчини швидко випаровуються з поверхні очищених металів, дозволяє вести очищення при кімнатній температурі та не викликають корозії металу. Для цього використовуються ацетон, метилетіленкетон, спирт, а також негорючі хлоровані розчини.

Ультразвукова обробка дозволяє інтенсифікувати процес очищення металу.

Механізм ультразвукової очистки являє собою фізико-хімічний процес у якому є акустична кавітація, яка виникає у рідині при коливаннях частотою 20-40 кГц. При кавітації у рідині можуть виникати два типи бульбашок, один з котрих захоплюється з генеруванням ударного імпульсу, інші існують багато періодів, пульсуючи відносно положення балансу. Пульсуюча бульбашка з часом входить під плівку забруднення та руйнує її. Бульбашки які лопаються руйнують плівку під дією виникаючої ударної хвилі. Ефективність ультразвукової очистки залежить від параметрів ультразвуку і від властивостей розчину. При ультразвуковій очистці жирових забруднень використовують слаболугові розчини із добавками поверхнево-активних речовин. Міцні оксидні плівки зазвичай видаляють кислотним травленням.

Якщо інтенсивність ультразвуку вище 2 Вт/см^3 і має місце кавітаційний режим, в цьому випадку очистка окалини з поверхні вуглецевих сталей травленням прискорюється у 2 рази. Очищення сталі X18H9T та титанових сплавів OT4 та BT1 під дією ультразвуку прискорюється у 3 рази.

Засобам об'єднання волокон та матриці при розробці технології отримання КМ та виробів з них відводять важливе місце. Це пояснюється тим, що переваги армування у більшості визначається потрібною геометрією макроструктури МКМ. Неправильне положення волокон у матриці може призвести до надмірного збільшення відстані між окремими волокнами, порушенню орієнтації волокон по відношенню один до одного, накладанням

та наклепу волокон один на одне, з проріхами у матриці. Усі ці дефекти послабляють різноманітні ділянки КМ і значно зменшують ефект армування.

1.7 Методи об'єднання волокон та матриці

Оскільки методи об'єднання волокон та матриці пов'язані із методами виготовлення КМ розглядати їх будемо разом.

1.7.1 Отримання МКМ методами у порошкової металургії.

Розглядаючи засоби отримання КМ, армованих нитковидними кристалами, ми вже згадали деякі методи порошкової металургії раніше. Ці способи дозволяють отримувати КМ із заданою пористістю, змінювати у широкому діапазоні концентрацію волокна. Вони піддаються механізації та автоматизації. Тому коло композицій, отримуваних із металевих порошків та волокон, дуже різноманітне. До недоліків цих методів потрібно віднести складність рівномірного розподілення волокон у об'ємі матриці із-за утворення клубків волокон у ході перемішування, а також можливість травмування крихкої арматури у процесі подальшого ущільнення.

Електролітичне осадження – цей метод отримання КМ, при котрому нитковидні кристали та волокна підтримуються у електретному стані. На катоді осаджується матричний метал, а волокна, безперервно знаходячись у контакті з катодом, виливаються у осад, рівномірно розподіляючись у ньому. При цьому утворюється хаотична орієнтація нитковидних частинок у площині. Вміст арматури можливо регулювати, змінюючи режим електролізу, концентрацію електроліту та розмір волокнистої фази. Процес проходить при низьких температурах без прикладеного тиску, що може дозволити звести до

самого мінімуму непотрібні температурні ефекти та руйнування волокон у ході виготовлення матеріалу. Тут є один важливий недолік – це те що його використовують лише для легких дискретних волокон, котрі можливо підтримувати у вигляді суспензії.

Композиційні покриття можливо наносити також осадженням з газової фази, вакуумним, емісійним та іншими методами, котрі для формування КМ ще практично не використовуються.

1.7.2 Методи просочення та ливарні методи отримання КМ.

Просочення визначається характером взаємодії тугоплавкого каркасу із рідкої металевою фазою. Тут є один фактор який є головним – це змочування або не змочування матричним розплавом поверхні волокон. У загальному результаті просочування при виготовлені КМ можливі три варіанти:

- 1) матричний розплав просочує волокна і не розчиняє їх;
- 2) матричний розплав просочує волокна і вибірково розчиняє їх;
- 3) просочення волокон матрицею не існує, і компоненти один у іншому не розчиняються.

Прикладами армованих систем, у яких практично немає взаємної розчинності компонентів, а кути просочення малі, слугують МКМ з мідною або срібляною матрицею, армованою вольфрамовими або молібденовими дротами. Для цих систем можна використовувати повне занурення сформованого каркасу із волокон у ванну з розплавом. Однак цими системами круг подібних КМ і закінчується. Отримання ж більшої групи КМ рідиннофазними методами вельми складно через відсутність просочування волокон матричним розплавом.

Дослідження змочування, зазвичай, проводять методом «сидячої» краплі. На Частину матеріалу волокна наносять краплю матричного розплаву

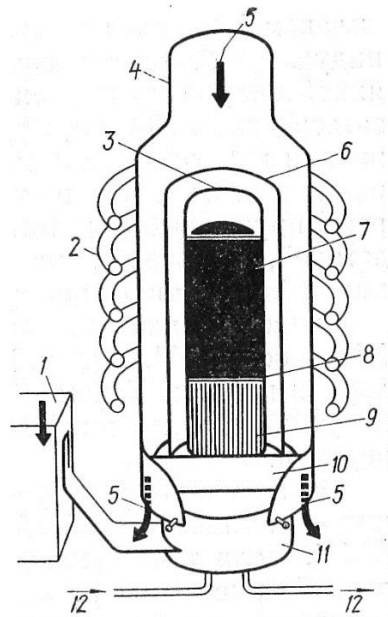
Просочення можливо побачити тоді, коли краєвий кут не більше 90° . Повне намокання буде при 0° . Здатність матриці змочувати або не змочувати волокна залежить від відносин горизонтальних параметрів поверхневого натягу γ на границях тверда фаза - розплав (γ_{sl}), розплав – пар (γ_{lv}) і тверда фаза – пар (γ_{sv}). Коли $\gamma_{sl} > \gamma_{sv} + \gamma_{lv} \cos \theta$, умови просочення не дуже сприяють просоченню. І по іншому коли $\gamma_{sl} + \gamma_{lv} \cos \theta < \gamma_{sv}$. Щоб нанесена на тверду ділянку крапля матричного розплаву розтікалася по ній, коефіцієнт розтікання S повинен бути позитивним: $S = \gamma_{sv} - \gamma_{sl} - \gamma_{lv} > 0$.

Хімічна взаємодія матричного розплаву із волокнами ускладнює умови просочення. При цьому через розчинення волокна, утворення нових фаз або дії забруднюючих сумішей чи атмосфери може змінюватися поверхневий натяг рідкої фази або напружень на границі в залежності від температури процесу і складу атмосфери. Здатність розплавленої матриці проникати у проміжки між волокнами однонаправленого пучка прямо пропорційна поверхневому натягу γ_{lv} матриці та ступеню змочування, який вимірюють крайовим кутом, та зворотно пропорційна розміру міжволоконному простору, котрий можна уявити як канал.

Отримання КМ методом направленої кристалізації евтектичних сплавів полягає в тому що із кристалізуючого розплаву виростає КМ, у котрому армуючою фазою є паралельні гольчасті або пластинчасті кристали, котрі рівномірно розташовані у матриці. Така армована фаза має механічні властивості, близькі до властивостей вусів, та добре пов'язана із матрицею, тому міцність волокнистих евтектик зазвичай дуже висока

Геометрично регулярні структури утворюються із рідкого сплаву евтектичного вмісту при постійній температурі, якщо існує напрямок кристалізації, що забезпечує ріст кристалів у потрібному напрямку. Відомо декілька методів направленої кристалізації, які використовують ті що створюють плоску поверхню між рідиною і кристалізуючимся твердим тілом, плоский фронт кристалізації (рис. 1.5). Тигель 3 з евтектичним сплавом 7, спочатку нагрівають до розплавлення за допомогою індуктора 2, а потім

починають витягувати його з постійною швидкістю із зони нагрівання. Розплав потроху твердіє. При цьому фронт кристалізації 8, переміщується в гору. Швидкість кристалізації залежить від швидкості витягування та умов теплообміну, котрі регулюють вибором матеріалів установки, форми її деталей, а також примусовим охолодженням водою 12, нижньої частини тиглю через блок 11, що встановлений на основі 10.

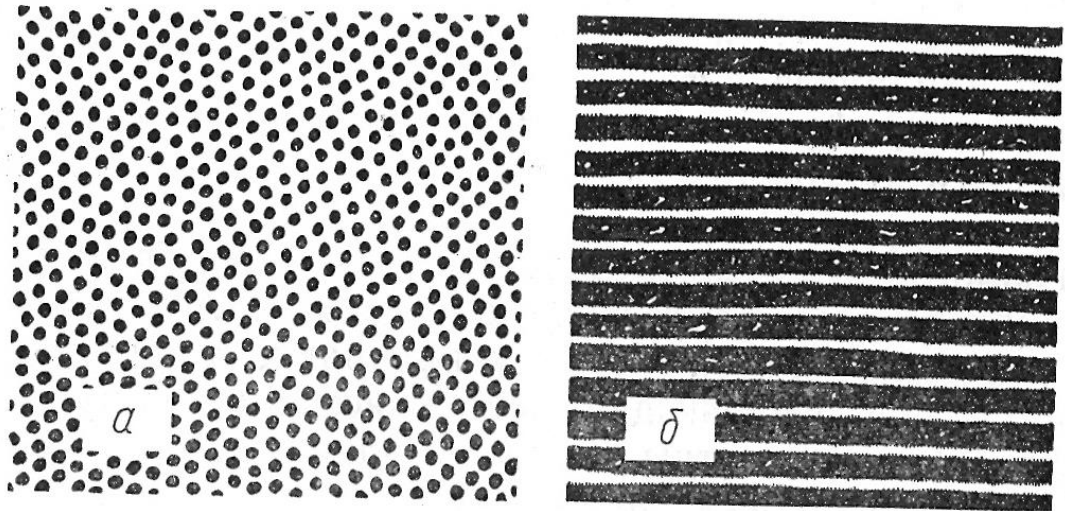


1 – Рухома опора; 2 – нерухомий індуктор; 3 – тигель; 4 – скляний корпус; 5 – інертний газ; 6 – керамічний кожух; 7 – розплав; 8 – фронт кристалізації; 9 – виливок; 10 – основа; 11 – охолоджувальний блок; 12 – вода [7]

Рисунок 1.5 – Схема направленої кристалізації евтектичних КМ

Методом направленої кристалізації отримані КМ на основі Al, Mg, Cu, Ni, Co, Ti, Nb, Ta і деяких інших матриць. Тому волокнисті евтектики можуть забезпечувати найширший діапазон робочих температур. Одна з найбільш вивчених систем на основі алюмінію – композиція Al-Al₃Ni. Якщо такий сплав відлити, то вуса розташуються по об'єму відливки, тому і міцність матеріалу буде низькою (приблизно 90 МПа). Якщо ж робити направлену кристалізацію зі швидкістю 2-10 см/год., фаза котра армується орієнтується у одному

напрямку (рис. 1.6 а). Границя міцності композиції в цьому випадку підвищується до 330 МПа. Границя міцності також може досягати 2800 МПа, якщо розтягувати окремі вуси, виділені із матриці травленням в розчинні кислоти.



а – волокниста евтектика Al-Al₃Ni (поперечний переріз); б – пластикна евтектика Al– Cu Al₂ (повздовжній переріз). [7]

Рисунок 1.6 – Мікроструктура евтектичних КМ :

При розтягненні КМ руйнування починається з волокон, а не на поверхні розділу між компонентами. Це означає що вуса Al₃Ni міцно зв'язані із матрицею та добре передають волокнам розтягувальні напруження.

При підвищених температурах міцність волокнистої евтектики Al-Al₃Ni зменшується повільніше, ніж міцність звичайних алюмінієвих сплавів, та близька із міцністю матеріалів типу САП. Композиція відрізняється дуже високою структурною стабільністю, навіть при температурах, близьких до температур плавлення матеріалу. Фаза яка армує у цих умовах, збільшується у діаметрі, та продовжує зберігати орієнтацію і міцно зв'язана із матрицею.

Тому міцність при кімнатній температурі композиції, витриманої 100 год. При 620°C не відрізняється від початкової. Волокниста евтектика Al-Al₃Ni має також підвищену циклічну міцність. Границя міцності композиції на

базі 10^8 циклів у 4–5 разів більше, ніж матриці. Втомна тріщина у цьому матеріалі з'являється у матриці та обходить волокно, не перетинаючи його.

Евтектика Al-Al₃Ni має непогану технологічність. Її можна піддавати холодній прокатці поперек волокон при дуже високих ступенях обтиску. Доводити ступень обтиску до 70-80 %. При більше 85 % обтиску волокна руйнуються та дезорієнтуються, а міцність матеріалу вздовж волокон становиться нижче початкової.

1.8 Оцінка стану жароміцних композитів та вибір напрямків досліджень

Неможна не погодитись із зробленим у огляді загальним висновком, про те, що не дивлячись на інтенсивний розвиток технологій композитів із металевою матрицею, початок котрого був 35 років тому, і викликаний головним шляхом вимогами користувачів жароміцних композитів, в наш час, технологічні прийоми виготовлення такого роду КМ не привели до значних досягнень. КМ в наш час не відносяться до матеріалів, що визначають КПД теплової машини, зокрема, не впливають кардинальним шляхом на рівень техніко-економічних характеристик двигунів реактивної тяги.

Задачі дослідження.

Як видно з наведеного аналізу літературних джерел, це обумовлено рядом не достатньо вивчених питань щодо технологій консолідації складових КМ. Тому метою даної роботи було провести теоретичний аналіз існуючих методів формування КМ, вибрати найбільш перспективний для виробництва деталей типу тонкостінних оболонок і провести експериментальну перевірку вибраного методу.

2 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Матеріали досліджень

У волокнистих високотемпературних композиційних матеріалах армуючі волокна повинні володіти високою міцністю, модулем пружності і хорошою сумісністю з матеріалом матриці при високих температурах.

З матеріалів, що мають достатню пластичність і при цьому високу міцність при високих температурах виділяються вольфрамові сплави. Волокна зі сплавів ВА розстрочуються при нагріваннях, що ускладнює їх використання. Зберігають вихідну міцність у зазначених умовах волокна зі сплавів ВТ-7, ВТ-15. Але випускається промисловістю дріт із зазначених марок сплавів має низьку міцність у поперечному напрямку, внаслідок чого легко розшаровується. Ця обставина може призводити до помітного зниження міцності композиційного матеріалу в напрямках перпендикулярних до осі волокон, а це ускладнює застосування такого матеріалу для виготовлення деталей. Виробляємі промисловістю дроти з вольфрамових сплавів з вмістом ріння, близьким до його граничної розчинності у вольфрамі (27% мас.), як правило, не схильні до розшарування, проте відноснокоштовні. Тому в якості матеріалів волокон був обраний сплав ВР10Т2 з більш низьким вмістом ренія (приблизно 10 %). Хімічний склад, якого приведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сплавів для армувальних волокон

Марка сплаву	Вміст елементів, % (мас.)						
	W	Re	O ₂	N ₂	C	H ₂	Fe,Al,Mg,Ca, Cu,Zn,P,S,As в сумме
BP10T2	72,71	0,24	0,002	0,001	0,003	0,0001	0,022

Призначення матриці композиційного матеріалу - рівномірний розподіл і передача зовнішнього навантаження на волокна. Вона також служить для захисту волокон від впливу зовнішнього середовища і збереження виробом форми. Матеріал матриці повинен мати необхідну міцність, жаростійкість, пластичність, мінімальну реакційну здатність до взаємодії з матеріалом волокон при температурах експлуатації до 1300 °С.

Зі сплавів, що випускаються промисловістю, цій вимозі задовольняє сплав ВЖ98. Хімічний склад його наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 Хімічний склад сплавів для матеріалу матриці

Марка сплаву	Вміст елементів, % (маса)								
	C	Si	Cr	Ni	Mn	Ti	W	Nb	Fe
ВЖ98	0,1	0,7	25	Осн.	0,4	0,6	15,7	-	0,4

Він є майже насиченим твердим розчином вольфраму і хрому в нікелі.

Тому навіть при підвищених температурах (до 1300 °С) вольфрамові волокна повинні розчинятися в такій матриці повільно. Поряд з цією позитивною якістю зазначений сплав містить до 16%: мас. відносно важкого і вольфраму. Він використовувався в даній роботі.

2.2 Методика формування композиційних матеріалів

Намагаючись отримати жароміцні листові КМ відносно недорогим способом в даній роботі застосували метод формування композиційного матеріалу детально представлений в роботі [6]. Цей метод має переваги рідкофазних процесів (формування композиційного матеріалу з частковим розплавленням матричних складових) та дозволяє зберегти міцність волокон.

Термічну обробку зразків з матрицею зі сплаву ВЖ98 здійснювали в печі УС-70-77-01. Контроль температури здійснювали за допомогою ПП-63 (клас 0,05).

2.3 Механічні випробування

Для дослідження механічних властивостей КМ зварені картки розрізали абразивним колом на смуги довжиною 260 мм і шириною 12 мм. Ці смуги шліфували до ширини 11 мм. Для захисту волокон від окислення при наступних нагріваннях торці зразків обварювали аргано-дуговим зварюванням з застосуванням того ж сплаву, який використовувався як матриця.

Механічні випробування здійснювали на машині для розтягу типу FM-1000, що була обладнана піччю зі спіральним нагрівачем зі сплаву 0X27Ю5А.

Швидкість навантаження при визначенні міцності становила 0,3 мм/с.

Зразки мали довжину 260 мм. Зона рівномірного нагрівання була 30 мм.

Температуру нагріву зразка контролювали платинородій-платиновою термопарою, спай якої приварювали до його робочої частини. Похибка регулювання температури при цьому не перевищувала 10 °С.

2.4 Металографічні дослідження

Дослідження мікроструктури зразків виконували за допомогою оптичного мікроскопа МИМ-8 при збільшеннях від 70 до 300.

Травлення шліфів композиційних матеріалів робили поетапно. Матриці зі сплаву ВЖ98 щавили в реактиві, що містить 10 м CuSO_4 , 50 мол. HCl (конц.) і 50 мол. спирту. Структуру вольфрамових волокон виявляли травленням у водяному розчині, що містить 10 м. KOH , 10 м. $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ і 80 м. H_2O .

Отже, визначено марку сплаву, який доцільно застосовувати як матрицю і марку сплаву для волокон при розробці композиційного матеріалу, що працює при температурі до 1300°C .

Вибрано методики та обладнання для досліджень властивостей та структури КМ.

З ВИБІР МЕТОДУ КОНСОЛІДАЦІЇ ВОЛЬФРАМОВИХ ВОЛОКОН З МАТРИЦЕЮ ІЗ ЖАРОМІЦНОГО СПЛАВУ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ ТОНКОСТІННИХ ОБОЛОНОК

Частіше за все жароміцність нікелевих сплавів досягається армуванням вольфрамовим чи молібденовим дротом. Металеві волокна також використовують і у випадках, коли потрібні високі теплопровідність, що важливо для таких деталей як насадки двигунів реактивної тяги. Тобто шляхом створення композиційного матеріалу (КМ).

КМ уявляють собою багатокомпонентні матеріали, що складаються з матриці та армувальних волокон. При цьому, армувальні волокна сприймають навантаження КМ. Підбором складу та властивостей волокон і матриці, їх співвідношення, орієнтації можна виробляти матеріали з потрібним поєднанням експлуатаційних і технологічних властивостей. Використання в одному матеріалі декількох матриць чи волокон різної природи (гібридні композиційні матеріали) значно розширює можливості регулювання властивостей композиційних матеріалів.

Крім фізико-хімічних властивостей компонентів композиційних матеріалів їх властивості ще залежать і від міцності зв'язку між ними. Якщо між матрицею і арматурою відбувається утворення твердих розчинів або хімічних сполук, то досягається максимальна міцність і всього КМ в цілому.

КМ з металевою матрицею мають високу міцність і жароміцність. Проте вони малопластичні. Волокна в таких матеріалах зменшують швидкість поширення тріщин і протидіють раптовому крихкому руйнуванню.

Особливістю властивостей волокнистих КМ є анізотропія механічних властивостей вздовж і впоперек волокон та не висока чутливість до концентраторів напружень. Ця обставина, а саме, анізотропія властивостей волокнистих композиційних матеріалів, враховується при конструюванні деталей і оптимізації властивостей узгодження полів опору з полями напружень

Крім того матриця може розподіляти напруження між волокнам тільки тоді, коли існує міцний зв'язок на поверхні їх поділу. Для запобігання контакту між волокнами матриця повинна по всій поверхні поділу оточувати всі волокна, що виконується при вмісті її не менш 15-20 %. Матриця і волокно повинні між собою взаємодіяти в певному ступені при виготовленні так як це забезпечує міцний зв'язок між компонентами КМ. Проте при занадто швидкому розчиненні компонентів один в одному може відбуватися зниження міцності КМ.

З тим щоб виконати цю умову консолідацію волокон і матриці при виробництві деталей із КМ, здійснюють у різні способи: ливарні; деформовані (спікання, пресування, штампування, ковка, прокатка,); зварювання тощо. При цьому регулювати ступінь взаємодії складових КМ можна вибором оптимальних значень технологічних параметрів. Як правило з точністю необхідною для реального виробництва уточнення значень даних параметрів виконують за допомогою експериментів. Проведення експериментів - дуже бажане, бо забезпечує дослідникові можливість наочно переконатися, що він був правий, або неправий при поясненні певного явища природи. Додаткова привабливість експериментальної роботи полягає в тому, що практичне застосування результатів дослідження може бути підтверджене документами про впровадження, які, у свою чергу, підвищують цінність і значимість проведеного дослідження.

Методи проведення експериментів в різних областях науки мають багато спільного. Усіх дослідників цікавить точність вимірювальних приладів і точність отриманих даних. Кожний дослідник намагається зменшити число змінних у експерименті, оскільки це прискорює роботу робить її більш економічною. Наприклад, усі дослідники намагаються контролювати свій експеримент і виключити вплив зовнішніх змін. При цьому, часті випадки, коли експериментальні зміни дослідник не може контролювати, і він повинен певним чином планувати експеримент, щоб звести до мінімуму, або взагалі виключити зовнішні впливи.

Тому в даній роботі з метою оптимізації технології консолідації компонентів КМ на експериментальній стадії застосували метод планування експерименту.

3.1 Теоретичний аналіз методів консолідації вольфрамових волокон з матрицею із жароміцного сплаву при виготовленні деталей типу тонкостінних оболонок

Виготовлення виробів з композиційних матеріалів з металевою матрицею. У загальному випадку процес створення виробу з композиційного матюку включає три етапи: 1) розроблення конструкції виробу, визначення його необхідних експлуатаційних властивостей; 2) вибір компонентів композиційного матеріала, їх концентрації, форми та орієнтації наповнювача (армуючого волокна); 3) визначення...

Отримання композиційних матеріалів на металевій основі, армованих волокнами

Вибір методу отримання композиції з різних поєднань матриці та армуючого волокна визначається наступними факторами:

- розмірами, профілем і природою вихідних матеріалів матриці та зміцнювача;
- можливістю створення міцного зв'язку на кордоні розділу "матриця - зміцнювач";
- отриманням рівномірного розподілу волокон у матриці;
- можливістю суміщення процесів отримання композиційного матеріалу та виготовлення з нього деталей;
- економічністю процесу.

При виробництві композиційних матеріалів з металевою матрицею найбільше розповсюдження отримали твердофазні, рідкофазні, газонарофазні, електролітичні та хімічні процеси.

Твердофазний метод суміщення компонентів композиції передбачає використання матеріалу матриці у вигляді аркушів, фольги, дроту або порошку.

Композиційний матеріал отримують одним з наступних прийомів: дифузійним зварюванням іод тиском; зварюванням вибухом; деформаційним опрацюванням під тиском; пресуванням з подальшим спіканням (порошковою металургією).

Рідкофазні процеси отримання композиційних матеріалів полягають у просочуванні зміцнюючих волокон або нітевидних кристалів, розташованих у певній послідовності або безладно, розплавом матеріалу матриці.

Методи отримання композиційного матеріалу розрізняються між собою умовами просочення волокон розплавом, що проходить:

- при нормальному тиску;
- в умовах вакууму (вакуумне всмоктування);
- під тиском;
- у поєднанні елементів вакуумної просочення і лиття під тиском.

До рідкофазного процесу слід віднести метод отримання композиції спрямованою кристалізацією з розплавів евтектичного складу.

Найважливішим моментом отримання якісного композиційного матеріалу просочуванням є хороша змочуваність зміцнюючих волокон розплавом матриці. Можливості методу значно обмежуються високою реакційною здатністю матеріалів волокон у контакті з металевими розплавами.

Газопарофазними способами наносять на армуючі волокна бар'єрні або технологічні покриття, що забезпечують їх захист від руйнування при взаємодії з матеріалом матриці. Їх фазовий склад (найчастіше нітриди, бори́ди, оксиди, карбіди) вибирають виходячи з фізико-хімічної та термомеханічної

сумісності армуючих волокон і матеріалу матриці. Покриття отримують в результаті або розкладання летючих карбонільних сполук металів, або випаровування металів і сплавів при термічному впливі електронним променем, іонними пучками.

Низька продуктивність методів не дозволяє використовувати їх для прямого компактування композиційних матеріалів.

Для цих цілей використовують метод газотермічного плазмового напилення, що забезпечує отримання напівфабрикатів композиційних матеріалів. Плазмовим напиленням наносять покриття з матричного матеріалу на армуючі волокна без істотного підвищення їх температури. Міцність зчеплення покриття з основою визначається механічним зчепленням частинок напилюваного металу або сплаву з шорсткою поверхнею, силами адгезії та хімічною взаємодією. Міцність зв'язку плазмових покриттів значно нижча, ніж покриттів, одержуваних металізацією, випаром або конденсацією у вакуумі.

Електролітичні методи дозволяють отримувати композиційні матеріали в результаті осадження матричного матеріалу на нітевидні кристали і волокна, які безперервно знаходяться в контакті з катодом. Процес протікає при низькій температурі і за відсутності тиску, що практично повністю виключає руйнування волокон і шкідливий вплив температурного фактора. Покриття виходить щільним, безпористим у тому випадку, якщо воно рівномірно покриває поверхню волокон і простір між ними. Пористість спостерігається при використанні волокон бору, карбіду бору або металевих волокон діаметром понад 100 мкм.

Хімічні методи дозволяють осаджувати металеві покриття на не проводять струм зміцнювачі у вигляді нітевидних кристалів (сапфір), а також на вуглецеві волокна (стрічки, пряді). Металева плівка точно відтворює профіль волокна, і її товщина легко контролюється параметрами технологічного процесу. Сутність хімічного методу осадження покриттів полягає у відновленні іонів металів на поверхні речовини, що покривається.

Методом хімічної облоги отримують покриття товщиною до 30 мкм і більше. Найбільш широко використовують осадження на зміцнювачі нікелю, меншою мірою міді, хрому, кобальту.

Властивості композиції найбільш повно реалізуються в деталях і вузлах з безперервним розташуванням волокон. Доцільно виготовляти деталі з композиційного матеріалу безпосередньо в процесі виробництва композиції.

Виготовляти деталі та елементи конструкцій з напівфабрикатів композиційних матеріалів у вигляді прутків, листів, труб, стрічок тощо важко, і в цьому випадку не реалізуються до кінця переваги композиційних матеріалів порівняно зі звичайними.

Аналіз розглянутих методів показав, що найменше дефектів на поверхні з'єднання складових КМ виникає при застосуванні рідиннофазних технологій, зокрема ливарних. Удосконалення даних технологій, на сьогодні, відбувається у напрямку скорочення часу взаємодії волокон з розплавленою матрицею, що дозволяє зменшити знеміцнення волокон. Слід відмітити, що більшого скорочення часу взаємодії волокон з розплавленою матрицею можна реалізувати при застосуванні для формування КМ методу контактного зварювання. Це пояснюється тим, що в даному методі нагрівання здійснюється короткими електричними імпульсами тривалість яких можливо регулювати в широких межах. Тому в даній роботі виконана спроба дослідити процес формування КМ саме цим методом .

3.2 Оптимізація параметрів формування композиційного матеріалу методом роликового зварювання

З метою вибору параметрів формування КМ даним методом провели експеримент щодо дослідження технологічних параметрів на структуру та властивості отримуемого матеріалу. Для цього, користуючись результатами

попередніх досліджень, та виробничим досвідом вибрали область дослідження, тобто фактори, їх рівні та інтервали варіювання (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Вибрані фактори їх рівні і інтервали варіювання

Фактори	Інтервали варіювання	Рівні факторів		
		Верхній	Середній	Нижній
X_1 – тривалість імпульсу, С	0,04	0,1	0,06	0,02
X_2 – тривалість паузи, С	0,1	0,36	0,26	0,16
X_3 – сила стиснення роликів, кН	1,00	5,60	4,60	3,60
X_4 – крок швів, мм	1	5	4	3

Як параметр оптимізації використали висоту ділянки проплавлення на стику швів.

Фактори змінювали у відповідності з напівреплікою 2^{4-1} (табл.3.2).

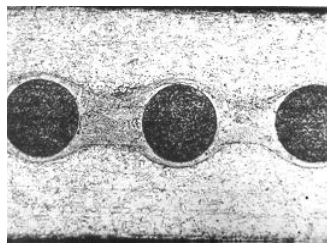
Таблиця 3.2 – Напіврепліка для проведення експерименту

№ досліджу	X_1	X_2	X_3	X_4	Висота зона проплавлення на стику $h \times 100$, мм
1	-	-	+	+	15,15
2	+	-	+	-	7,84
3	-	+	+	-	25,16

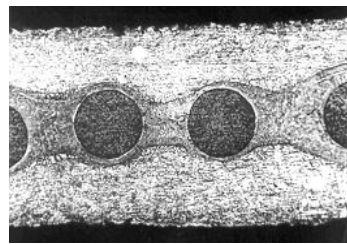
Продовження таблиці 3.2

№ дослід	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Висота зона проплавлення на стику h x 100, мм
4	+	+	+	+	12,17
5	-	-	-	-	27,01
6	+	-	-	+	13,68
7	-	+	-	+	30,82
8	+	+	-	-	23,34

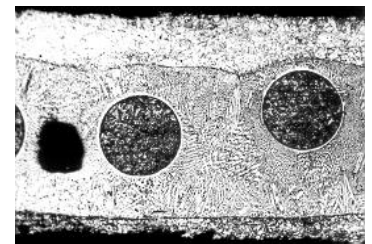
Після виконання експерименту дослідили мікроструктури зразків кожного дослід, вид котрих наведено на рисунку. 3.1.



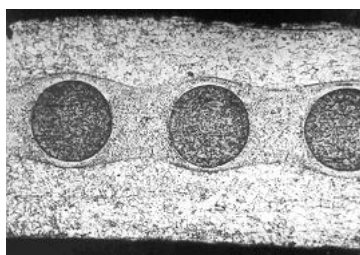
а



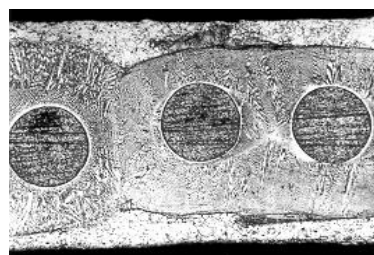
б



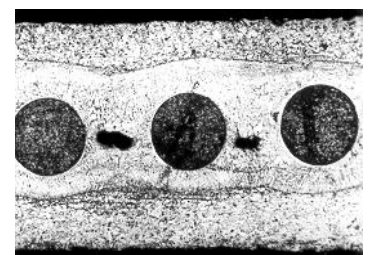
в



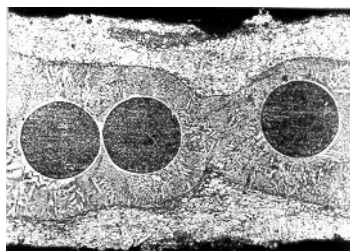
г



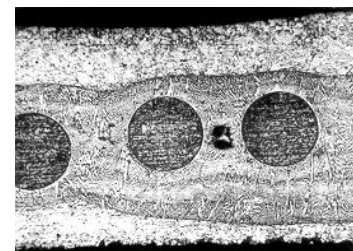
д



е



ж



з

Рисунок 3.1 – Характерні мікроструктури x100

Як видно з даного рисунка на стиках швів є проплавлена зона, і вона оточує волокна. Результати вимірювання її висоти (параметра оптимізації) також наведено в таблиці 3.2.

Після обробки експериментальних даних за методикою описанною в [10] отримано наступне рівняння регресії:

$$\hat{h} = 19,39 - 5,65X_1 + 3,48X_2 - 4,31X_3 - 1,44X_4 \quad (3.1)$$

Дану математичну модель перевірили на адекватність за критерієм Фішера. Результати цієї перевірки наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати перевірки математичної моделі, що описує вплив технологічних параметрів на структуру КМ.

Значення критеріїв Кохрена		Дисперсія відтворюваності S_y^2	Дисперсія і-го коефіцієнта $S^2 [b_i]$	Довірчий інтервал Δb_i	Дисперсія адекватності S_{ay}	Критерій Фішера	
G_p	G_T					F_p	F_T
0,27	0,359	16,62	0,34	1,19	4,30	0,25	9,00

Як видно з наведеної таблиці отримана модель є адекватною, що підтверджується співвідношенням $F_p = 0,25 < F_T = 9$.

Таким чином, зміною факторів у відповідності зі знаками і значеннями коефіцієнтів моделі (3.3) можливо збільшувати висоту зони проплавлення.

За допомогою даної моделі встановили параметри процесу формування КМ, які забезпечують оптимальну висоту ділянки проплавлення. Дані параметри отримали значення, які наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Режим формування КМ з застосуванням методу контактного зварювання

Напруга, В	5,5
Ширина роликів електродів, мм	8
Крок зварювання, мм	4
Сила стиснення електродів, кН	4,5
Тривалість імпульсу, С	0,04
Тривалість паузи, С	0,3
Швидкість зварювання, см/хв.	29
Величина току, кА	10-11

3.2.1 Дослідження механічних властивостей композиційних матеріалів

Оскільки дані деталі працюють відносно короткий час були проведені випробування отриманих матеріалів з визначенням короткотривалої і годинної міцності. З тим, щоб оцінити вплив технології консолідації волокон з матрицею на міцність вказаних складових КМ порівнювали експериментальні результати з результатами тих же параметрів розрахованими за правилом суміші. У розрахунках застосовували значення міцності КМ, їх матриць і їх волокон, що були визначенні експериментально (табл. 3.5). При цьому вплив волокон розташованих під кутом 90 ° на міцність зразків не враховували.

З даної таблиці видно, що міцність волокон на порядок вища порівняно з міцністю матриці і знижується з підвищенням температури теж набагато повільніше.

Таблиця 3.5 – Короткотривала міцність матеріалів матриць та волокон діаметром 0,3мм, МПа

Матеріал	Діаметр волокон, (товщина листа), мм	Температура випробувань, °С		
		1200	1250	1300
ВЖ-98	(0,3)	48,5	40,7	30,0
BP10T2	0,32	810	762	700,0
—«—	0,21	920	892	753

Примітка: Довірчий інтервал складає $\pm 0,5$ МПа

Результати випробувань КМ, отримані при визначенні короткотривалої міцності, а також розраховані значення їх міцності за правилом суміші, при температурі 1300 °С наведено в таблиці 3.6.

З таблиці 3.6 видно, що значення короткотривалої міцності (σ_v) отримані в результаті розрахунків та експерименту співпадають в межах похибок у всіх досліджуваних типах КМ. Це свідчить, проте, що технологічні нагрівання не приводять до знеміцнення складових КМ.

Таблиця 3.6 – Короткотривала і питома міцність армованих зразків при температурі 1300°

Напрямок волокон	Діаметр волокон, мм	Об'ємна частка волокон, %	σ _в , МПа		Питома міцність σ _в /γ, кМ
			Розрахунок	Експеримент	
Матеріал матриці ВЖ-98, волокна марки ВР273ВП					
повздовж.	0,32	11,0	177,4	167,6	1,43
повздовж.	0,32	11,0			
повздовж.	0,32	11,0	103,7	109,0	0,98
поперечн.	0,32	11,0			
повздовж.	0,32	11,0	94,7	89,8	0,87
поперечн.	0,32	11,0			
повздовж.	0,21	10,8	110,2	98,4	0,98
поперечн.	0,21	10,8			

Примітка: довірчий інтервал складає $\pm 1,1$ МПа

Порівняння короткотривалої міцності КМ і цього ж параметра для жароміцного сплаву матриці показує, що при температурі 1300 °С КМ має у 5,5 разів вищу міцність при об'ємній частці волокон 22 % і у 3,6 разів при об'ємній долі волокон у 11 %.

Також, слід відмітити, що зразки, армовані волокнами ВР10Т2 діаметром 0,21мм мають вищу міцність (в межах довірчого інтервалу), порівняно зі зразками, армованими волокнами діаметром 0,32 мм. Цей ефект підвищення короткотривалої міцності армуванням зразків волокнами діаметром 0,21 мм може бути пов'язаний з тим, що дані волокна мають вище значення міцності, порівняно з волокнами діаметром 0,32 мм. Також видно, що питома міцність КМ зростає при збільшенні об'ємної частки волокон, спрямованих вздовж напрямку навантаження.

Годинну міцність зразків КМ при різних температурах наведено в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Годинна міцність зразків КМ (матеріал матриці ВЖ-98, волокна марки ВР10Т2) при температурах 1200-1300 °С

Напрямок армування	Діаметр волокон, мм	Об'ємна частка волокон, %	Годинна міцність σ_1 МПа при температурі випробування °С		
			1200	1250	1300
повздовж.	0,32	11,5	111,0	87,5	67,3
повздовж.	0,32	11,5			
повздовж.	0,32	11,5	47,0	39,0	34,4
поперечн.	0,32	11,7			

Примітка: довірчий інтервал складає $\pm 1,7$ МПа

З наведеної таблиці видно, що міцність КМ знижується з підвищенням температури і зменшенням частки волокон у повздовжньому напрямку, тобто змінюється за тими ж закономірностями, що і короткотривала міцність, проте вона має дещо нижчі значення порівняно з короткочасною міцністю.

За результатами даних досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Досліджено можливості різних методів консолідації КМ системи ВЖ98 – ВР10Т2
2. Вивчено вплив термічних технологічних нагрівів на структуру і властивості КМ з матрицею з нікелевого сплаву ВЖ98, що зміцнений волокнами з вольфрам-ренієвого сплаву ВР10Т2.
3. Визначені значення технологічних параметрів консолідації КМ системи ВЖ98 – ВР10Т2, що забезпечують збереження короткочасної міцності складових.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Будь-яка небезпека реалізується завдаючи шкоди завдяки якоїсь причини або кількох причин. Без причин немає реальних небезпек. Отже, запобігання небезпек або захист від них базується на знанні причин їх виникнення. Між реалізованими небезпеками і причинами їх виникнення існує причинно-наслідковий зв'язок, небезпека – це наслідок якоїсь причини, яка, в свою чергу є наслідком іншої причини.

Планування та реалізацію заходів попередження потенційних небезпек можна здійснювати як з використанням функціонального підходу так і процесорного підходу.

При використанні функціонального підходу аналіз потенційних небезпек складається з визначення потенційно небезпечного або шкідливого виробничого фактору, пошуку причин його прояву та з'ясування можливих наслідків його впливу на людину. Виробничий фактор, сам по собі, не є загрозою для життя та здоров'я людини, а прояв небезпеки пов'язаний з порушенням правил з охорони праці при виконанні дій, де присутній відповідний виробничий фактор.

Планування та здійснення заходів з охорони праці виконують на основі аналізу потенційних небезпек, які впливають на людину при виконанні будь-яких робіт.

Так, в металургійній галузі проведення аналізу потенційних небезпек доцільно виконувати за тим самим алгоритмом, за яким відбувається процес.

Наприклад:

Небезпеки які пов'язані з порушеннями роботодавцями вимог НПАОП 0.00 – 7.11 – 12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників», а саме:

- вимог щодо організації та забезпечення безпеки на робочих місцях, що може бути пов'язано з не проведенням організаційних заходів щодо навчання

та перевірки знань з охорони праці, інструктажів, не наданням інформації про можливі небезпеки;

- вимог щодо облаштування робочих зон, що може бути пов'язано з незадовільним станом устаткування, захисних пристроїв, відсутності схем евакуації, захищеність аварійних виходів.

- вимог щодо облаштування виробничих приміщень, що може бути пов'язано з втратою конструктивної міцності будівель та споруд, незабезпеченням придатних метеорологічних умов, перевищенням гранично-допустимих концентрацій шкідливих речовин, недостатнього рівня освітлення.

Небезпеки які пов'язані, з порушенням вимог ергономіки стосовно, організації робочих місць дослідників в приміщенні дослідницької лабораторії, зокрема невідповідності розмірів робочих зон., а також максимально можливої кількості осіб, що можуть там перебувати відповідно до СНиП 2.09.04 – 87 «Административные и бытовые здания» та СНиП 2.09.02 – 85 «Производственные здания», нераціонального розташування дослідницького приладдя та офісного обладнання.

Недостатня професійна підготовка фахівця, яка може бути обумовлена недостатністю знань за фахом відсутністю знань технологічної та експлуатаційної документації, що може призвести до аварійних ситуацій.

Можливість ураження електричним струмом, при виконанні службових обов'язків внаслідок порушення правил з електробезпеки, несправності енергоспоживаючого обладнання, відсутності групових або індивідуальних засобів захисту, що може призвести до електричних травм або летального наслідку.

Небезпеки, пов'язані з визначенням хімічного складу дослідних матеріалів методами спектрального аналізу з використанням спектрофотометрів, рентгенофлуоресцентного аналізу з використанням рентгено-флюоресцентного мікроаналізатора або дериватографії з використанням дериватографів.

Основними небезпеками є: потужні електронне та оптичне випромінювання при спектральному аналізі, іонізуюче випромінювання при рентгено-флюоресцентному аналізі.

Можливість отримання механічних травм при підготовці зразків або дослідницьких виробів до термічної обробки що може бути пов'язано з порушеннями правил охорони праці під час роботи з абразивним інструментом (НПАОП 28.0-1.30-12) зокрема: використання абразивного інструменту який не пройшов випробування, порушення правил експлуатації, що може призвести до тяжких травм.

Небезпеки які пов'язані з безпосереднім проведенням дослідницьких робіт, випробуванням зразків або виробів.

Небезпеки які пов'язані з використанням судин для зберігання робочих газів під тиском або компресорних установок, зокрема: порушень правил зберігання переміщення та експлуатації судин під тиском, перегріві циліндрів компресорних установок, що може призвести до вибухів та великомасштабних руйнувань.

Небезпеки які пов'язані з дослідженням структури металу методом оптичної металографії з використанням оптичних мікроскопів зокрема: ушкодження органів зору при хибній комбінації світлофільтрів, об'єктивів та окулярів.

Небезпеки які пов'язані з дослідженням структури металу методом електронної металографії з використанням електронних мікроскопів зокрема: негативний вплив потужного електронного випромінювання на клітинному рівні, що може призвести до зниження імунітету та розвитку імунних захворювань.

Небезпеки які пов'язані з дослідженням фазового складу структури металу з використанням рентгеноструктурного аналізу на дифрактометрах типу ДРОН зокрема: негативний вплив іонізуючого випромінювання при порушенні методики досліджень або відсутності екрануючих пристроїв, нехтування захистом відстанню та часом, що може призвести до зниження

імунітету та розвитку імунних захворювань, негативний вплив теплового випромінювання при дериватографії з використанням дилатометрів.

Можливість отримання механічних травм внаслідок порушень правил з охорони праці при підготовці зразків для випробування твердості, механічних та технологічних властивостей та при безпосередніх випробуваннях. Основними небезпеками можуть бути: використання застарілого та небезпечного обладнання, порушення умов проведення випробувань.

Небезпеки які пов'язані із обробкою результатів досліджень із використанням ПК, зокрема ушкодження кістково-м'язового апарату внаслідок довготривалої роботи в однотипній позі, що може призвести до зниження працездатності та розвитку професійних захворювань.

Незадовільні параметри мікроклімату які повинні відповідати фізіологічним потребам організму працюючих, із врахуванням енергетичних витрат на виконувану роботу згідно з ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень»[52] внаслідок неефективної роботи систем опалення та повітрообміну, що може призвести до загальних захворювань.

Невідповідність вимогам ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення» [54] освітлення робочих зон дослідницької лабораторії внаслідок виходу з ладу освітлювальних приладів або хибного розрахунку їх кількості та потужності, що може призвести до погіршення зору.

Можливість загоряння внаслідок порушень правил пожежної безпеки, які зазначені в НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні», а саме хибне визначення видів та кількості первинних засобів пожежогасіння відносно категорій приміщень с пожежної безпеки, що може привести до пожежі.

4.1 Заходи щодо забезпечення безпеки, виробничої санітарії, гігієни праці та пожежної безпеки

При використанні функціонального підходу заходи розробляються на основі аналізу потенційних небезпек. Обираються найбільш ефективні заходи, що спрямовані на виключення або мінімізацію негативного впливу визначених потенційно небезпечних та шкідливих факторів виробничого процесу. В цьому підрозділі треба розглянути заходи забезпечення безпеки при дії факторів фізичного, хімічного, психофізіологічного характеру у такій послідовності, як було наведено у розд. 2.1 «Аналіз потенційних небезпек».

Будь які заходи розробляються тільки на підставі вимог нормативних актів з охорони праці, посилення на які є обов'язковим.

Попереджувальні заходи захисту мають бути комплексними, але обов'язковими є заходи організаційного та технічного спрямування.

При розробці попереджувальних заходів у магістерських дипломних роботах рекомендовано приділити увагу:

- забезпеченню ергономічних вимог стосовно робочих місць дослідників в приміщеннях лабораторій та дослідницьких ділянок;
- забезпеченню безпеки при виготовленні дослідних виробів та випробувань їх механічних, технологічних та експлуатаційних властивостей;
- попередженню негативного впливу шкідливих випромінювань при визначенні хімічного і фазового складу матеріалу та вивченні мікроструктури на інсталяціях для визначення хімічного і фазового складу на електронних та оптичних мікроскопах;
- попередженню небезпек які пов'язані з обробкою отриманих результатів досліджень з використанням персональних комп'ютерів та іншої спеціалізованої техніки.

4.2 Захист працівників у робочій зоні

Робоча зона – це простір, обмежений по висоті 2 м над рівнем підлоги або майданчика, на якому знаходяться місця постійного або непостійного (тимчасового) перебування працюючих.

Робоче місце – це зона, оснащена необхідними технічними засобами, у якій відбувається трудова діяльність виконавця або групи виконавців, які спільно виконують одну роботу або операцію.

З метою зниження або виключення можливого впливу на людину в робочій зоні апарата (машини, виробу, обладнання) небезпечних або шкідливих виробничих факторів, необхідно передбачити:

- Засоби захисту працівників – тобто засоби, призначені для запобігання або зменшення впливу на працюючих небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

- Засоби колективного захисту – це засоби захисту, конструктивно та функціонально пов'язані з виробничим обладнанням, виробничим процесом, виробничим приміщенням (будівлею) або виробничим майданчиком.

- Засоби індивідуального захисту – це засоби захисту, що надіваються на тіло або частини тіла людини.

- Знаки безпеки – це знаки, призначені для попередження людини про можливу небезпеку, а також заборони або приписання певних дій, і для інформування про розташування об'єктів, використання яких пов'язане з виключенням або зниженням наслідків небезпечних і (або) шкідливих виробничих факторів.

- Кольори безпеки – це кольори, призначені для залучення уваги людини до окремих елементів виробничого обладнання та будівельної конструкції, які можуть бути джерелами небезпечних і шкідливих виробничих факторів, а також до засобів пожежогасіння і знакам безпеки.

4.3 Заходи з електробезпеки

Згідно вимог НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок» [39] для безпечного проведення робіт необхідно виконати наступні організаційні заходи: (п. 6.1.1)

- призначити працівників, відповідальних за безпечне проведення робіт;
- видати наряд або розпорядження;
- видати дозвіл на підготовку робочих місць і на допуск;
- підготувати робочі місця та забезпечити допуск до роботи;
- забезпечити нагляд при виконанні робіт;
- при необхідності, організувати переведення на інше робоче місце;
- забезпечити оформлення перерв у роботі та порядок її закінчення.

До основних заходів захисту людини від ураження електричним струмом, відносять:

- забезпечення неможливості випадкового дотику до струмоведучих частин, що перебувають під напругою;
- електричний розподіл мережі;
- усунення небезпеки ураження з появою напруги на корпусах, кожухах та інших частинах електроустаткування, що досягається захисним заземленням, зануленням і захисним відключенням;
- використання малих напруг;
- захист від випадкового дотику до струмоведучих частин кожухами, огороженням або подвійною ізоляцією;
- захист від небезпек можливих при переході напруги з вищої сторони на нижчу;
- контроль і профілактика пошкоджень ізоляції;
- компенсація ємнісної складової струму замикання на землю;
- застосування спеціальних електрозахисних засобів, блокувань, сигналізації та запобіжних пристроїв;

- організація безпечної експлуатації електроустановок.

Використання захисного заземлення:

- Робоче заземлення – це заземлення струмоведучих частин електроустановки, яке виконане для забезпечення роботи електроустановки (не з метою електробезпечності), наприклад, робоче заземлення нейтралі трансформатора;

- Заземлення блискавкозахисту – це заземлення блискавкоприймача, з метою захисту об'єкта від прямого удару блискавки;

- Захисне заземлення – це заземлення, яке виконане з метою електробезпечності, тобто з'єднання відкритих провідних частин (ВПЧ) із заземлювачем для захисту від непрямого дотику та від наведеного напруги.

На практиці, у більшості випадків, це той же самий заземлювач до якого приєднують і ВПЧ, і нейтралі трансформаторів, і блискавкоприймачи. Тільки при яких-небудь обґрунтуваннях (технологічних, з погляду безпеки і т.п.) застосовують три різні заземлювача, що обходиться значно дорожче.

Заземлення використовують також для захисту від статичної електрики, що накопичується при терті діелектриків для захисту від електромагнітних випромінювань, підключаючи екрани до заземлювача і т.п.

Захисне заземлення може бути ефективним тільки в тому випадку якщо струм замикання на землю не збільшується зі зменшенням опору заземлення. Це можливо в мережах з ізольованою нейтраллю, де при глухому замиканні на землю або на заземлений корпус струм не залежить від провідності (або опору) заземлення, а також у мережах, напругою вище 1000 В з заземленою нейтраллю. В останньому випадку замикання на землю є коротким замиканням, при цьому спрацьовує максимальний струмовий захист.

У мережі із заземленою нейтраллю напругою до 1000 В заземлення неефективне, тому що навіть при глухому замиканні на землю струм залежить від опору заземлення та зі зменшенням останнього струм зростає.

Відповідно до «Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів» ПТЄЕЭС 2012 і ПТБ для персоналу, який обслуговує електроустановки, встановлено п'ять кваліфікаційних груп з електробезпеки:

I кваліфікаційна група присвоюється не електротехнічному персоналу, який використовує у своїй роботі електроінструмент (ПК, принтер, сканер, пиросос і т.п.). Спеціальне навчання – не потрібно. Групу присвоює співробітник, призначений на посаду відповідального за електрогосподарство підприємства.

II кваліфікаційна група присвоюється кваліфікаційною комісією електротехнічному персоналу, який обслуговує установки та обладнання з електроприводом.

Наприклад, електрозварювачі (без права підключення), термісти установок СВЧ, машиністи вантажопідйомних машин, пересувні машини та механізми з електроприводом, що працюють із ручними електричними машинами та іншими переносними електроприймачами тощо. Також 2 група допуску (до 1000 В) присвоюється молодим електромонтерам, електромонтажникам, і співробітникам, які прострочили продовження групи допуску більш ніж на 6 місяців.

III кваліфікаційна група присвоюється тільки електротехнічному персоналу. Ця група дає право одноособового обслуговування, огляду, підключення та відключення електроустановок від мережі напругою до 1000 В.

IV кваліфікаційна група присвоюється тільки особам електротехнічного персоналу. Особи із кваліфікаційною групою не нижче IV мають право на обслуговування електроустановок напругою вище 1000 В.

4-я група допуску з електробезпеки (до 1000 В) необхідна особам (ІТП) для призначення відповідальною особою за електрогосподарство в організації. Також присвоюється оперативному персоналу для навчання молоді на робочому місці.

V кваліфікаційна група присвоюється особам, відповідальним за електрогосподарство та іншому інженерно-технічному персоналу в установках напругою вище 1000 В.

Кваліфікаційні групи з електробезпеки, для відповідальних за безпечне проведення робіт в електроустановках, визначають відповідно до вимог НПАОП 40.1-1.01-97 «ПБЕЕ» [39], залежно від діючого значення напруги електроустановки (до або вище 1000 В):

- працівник, який видає наряд, віддає розпорядження;
- працівник, який дає дозвіл на підготовку робочого місця та на допуск;
- працівник, який готує робоче місце; □
- працівник, який допускає до роботи (допускач);*
- керівник робіт;
- працівник, який спостерігає за безпечним виконанням робіт (наглядач);
- членів бригади.

Право на видавання нарядів та віддавання розпоряджень надається керівникам та спеціалістам підприємства, які мають V групу.

Працівник, який дає дозвіл на підготовку робочих місць та на допуск, несе відповідальність за достатність передбачених заходів для виконання робіт з вимкнення та заземлення обладнання та можливість їх здійснення, а також – за координацію часу та місця роботи бригад, які допускаються.

Давати дозвіл на підготовку робочих місць і на допуск мають право оперативні працівники з V групою.

(Працівник, який готує робоче місце, відповідає за правильне і

точне виконання заходів щодо підготовки робочого місця, зазначених у наряді, а також тих, що вимагаються умовами роботи (встановлення замків, плакатів, огорожень).

Підготовляти робочі місця мають право чергові або працівники зі складу оперативно-виробничих працівників, які допущені до оперативних перемикачів в цій електроустановці.

Допускач відповідає за правильність і достатність вжитих заходів безпеки та їх відповідність характеру і місцю роботи, зазначених у наряді, за правильний допуск до роботи, а також за повноту та якість проведеного ним інструктажу.

В електроустановках понад 1000 В допускач повинен мати IV групу, а в електроустановках до 1000 В – III групу.

Керівник робіт призначається у разі виконання робіт за нарядами і розпорядженнями, крім тих, що виконуються одноособово.

Керівник робіт, що виконуються за нарядом в електроустановках понад 1000 В, повинен мати IV групу, а в електроустановках до 1000 В – III групу, крім робіт у підземних спорудах, де можуть утворюватись шкідливі гази, та під напругою, – у цьому разі керівник робіт повинен мати IV групу.

Керівник робіт, що виконуються за розпорядженням, повинен мати III групу.

У разі виконання найбільш складних та небезпечних робіт керівником робіт за нарядом повинен призначатись працівник з V групою із складу керівників або спеціалістів.

Для нагляду за бригадами працівників, які не мають права самостійно працювати в електроустановках, призначається наглядач з групою не нижче III.

4.4 Заходи безпеки при виконанні процесів дослідження

Основними результатами досліджень в металургійній галузі є визначення типу структури, фазовий аналіз, параметри механічних, технологічних й експлуатаційних властивостей досліджуваних матеріалів та оцінка придатності результатів дослідження до подальшого впровадження.

Прикладами виконання заходів з охорони праці в дослідженнях можуть бути:

- Для уникнення механічних травм при виготовленні зразків необхідно працювати на справному станку, своєчасно проводити заміну деталей, термін експлуатації яких вже закінчився та використовувати захисні окуляри та рукавиці; для виключення травмування органів зору передбачено застосування захисних окулярів, які служать для захисту очей від ушкоджень частками твердих тіл, що летять попереду, знизу і збоку. Ці окуляри оснащені фігурними боковинами, що відкидаються. Застосовувати прозорий екран для захисту очей робітника від поранень частками, що відлітають.

Заходи безпеки при роботі на шліфувальних і заточувальних верстатах: установка абразивних кіл на верстатах повинна проводитися тільки спеціально проінструктованими наладчиками; використання абразивних кіл з дефектами заборонено; абразивні кола повинні мати штамп або наклейку про випробування – порядковий номер кола і підпис особи, відповідальної за випробування; біля кожного верстата необхідно вивісити табличку із зазначенням допустимої роботи колової швидкості використовуваних кіл і частоти обертання шпинделя верстата в хвилину; при обертанні абразивного кола, виступаючі кінці шпинделя і кріпильні деталі захистити захисними кожухами; підручники повинні мати достатній за величиною майданчик для стійкого положення оброблюваного виробу. Зазор між краєм підручника і робочою поверхнею шліфувального круга повинен бути не більше 3 мм;

заборонено працювати без підручника, захисного екрана або окулярів, якщо верстат не заземлений і не обладнаний установкою для відсмоктування абразивного пилю. ГОСТ 12.3.028–82 «Процесс обработки абразивными и эльборовым инструментом».

- Для безпеки роботи на дифрактометрі ДРОН-1 необхідно закрити місця можливого розсіяння рентгенівських променів захисними свинцевими екранами.

При встановленні камер з люмінісцентними екранами для візуального спостереження за юстировкою зразка необхідно користуватися захисним просвинцованим склом. Для забезпечення захисту рук оператора від опромінення при юстировці гоніометра необхідно користуватися подовженими торцевими ключами. При використанні іонізаційного методу реєстрації гоніометр під час роботи має бути закритий ширмою або іншим захисним пристроєм, що забезпечує зменшення інтенсивності розсіяного випромінювання до допустимих величин. При випадковому попаданні в сферу дії іонізуючого випромінювання необхідно негайно відключити аварійну установку від електромережі та повідомити про це відповідального за радіаційну безпеку в університеті та керівника.

- Для уникнення механічних травм при виготовленні зразків необхідно працювати на справному станку, своєчасно проводити заміну деталей, термін експлуатації яких вже закінчився та використовувати захисні окуляри та рукавиці; для виключення травмування органів зору передбачено застосування захисних окулярів, які служать для захисту очей від ушкоджень частками твердих тіл, що летять попереду, знизу і збоку. Ці окуляри оснащені фігурними боковинами, що відкидаються. Застосовувати прозорий екран для захисту очей робітника від поранень частками, що відлітають.

- Заходи безпеки при роботі на шліфувальних і заточувальних верстатах: установка абразивних кіл на верстатах повинна проводитися тільки спеціально проінструктованими наладчиками;

- використання абразивних кіл з дефектами заборонено;

абразивні кола повинні мати штамп або наклейку про випробування – порядковий номер кола і підпис особи, відповідальної за випробування;

біля кожного верстата необхідно вивісити табличку із зазначенням допустимої роботи колової швидкості використовуваних кіл і частоти обертання шпинделя верстата в хвилину;

при обертанні абразивного кола, виступаючі кінці шпинделя і кріпильні деталі захистити захисними кожухами;

підручники повинні мати достатній за величиною майданчик для стійкого положення оброблюваного виробу. Зазор між краєм підручника і робочою поверхнею шліфувального круга повинен бути не більше 3 мм; заборонено працювати без підручника, захисного екрана або окулярів, якщо верстат не заземлений і не обладнаний установкою для відсмоктування абразивного пилу. ГОСТ 12.3.028–82 «Процесс обработки абразивными и эльборовым инструментом».

4.5 Заходи з виробничої санітарії і гігієни праці

Заходи з виробничої санітарії і гігієни праці визначаються відповідно до вимог Державних санітарних норм і правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», зареєстрованих МЮ України 06.05.2014 р. за № 472/25249, з урахуванням виявлених, в процесі аналізу потенційних небезпек, небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

Санітарний клас виробництва і розміри його санітарно-захисної зони визначаються з урахуванням наявних шкідливих виробничих факторів, згідно вимог ДСП 173-96 «Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів».

Параметри мікроклімату і чистоти повітря визначають згідно вимог ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень», в залежності від категорії фізичних робіт, для певних робочих місць (постійних і непостійних).

Постійне робоче місце – це місце, на якому працюючий знаходиться понад 50% робочого часу або більше 2-х годин безперервно. Якщо при цьому робота здійснюється в різних пунктах робочої зони, то постійним робочим місцем вважається вся ця зона.

Непостійне робоче місце – це місце, на якому працюючий знаходиться менше 50% робочого часу або менше 2-х годин безперервно.

Необхідно враховувати, що:

- для постійних робочих місць визначаються оптимальні та допустимі параметри мікроклімату в холодний та теплий період року;
- для непостійних робочих місць визначаються тільки допустимі параметри мікроклімату в холодний та теплий період року.
- в холодний період року на постійних робочих місцях: температура оптимальна 18-20 °С, допустима 17-23 °С; відносна вологість: оптимальна 40-60 %, допустима 75 %; швидкість переміщення повітря: оптимальна не більше 0,2 м/с, допустима не більше 0,3 м/с;
- в холодний період року на непостійних робочих місцях допустима температура: 15-24 °С; допустима відносна вологість: 75 %; допустима швидкість переміщення повітря: не більше 0,3 м/с;
- в теплий період року на постійних робочих місцях: температура оптимальна 21-23 °С, допустима 18-27 °С; відносна вологість: оптимальна 40-60 %, допустима 40-60 %; швидкість переміщення повітря: оптимальна не більше 0,3 м/с, допустима не більше 0,2-0,4 м/с;
- в теплий період року на непостійних робочих місцях допустима температура 17-29 °С; допустима відносна вологість: 65 % при температурі 26 °С; допустима швидкість переміщення повітря: 0,2-0,4 м/с.

Далі, відповідно до вимог ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування», визначається оптимальний склад і тип систем вентиляції, кондиціонування та опалення, які забезпечують підтримку передбачених параметрів мікроклімату і чистоти повітря.

Наприклад. Ці параметри забезпечуються системами загальнообмінної й місцевої вентиляції та опалення, відповідно до вимог ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування».

Для опалення виробничих приміщень в холодну пору року, згідно ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» передбачена система центрального опалення, за допомогою повітряних опалювальних установок.

При необхідності, передбачається колективний та індивідуальний захист від впливу шкідливих речовин, які знаходяться в повітрі.

Захист від шкідливих газів, паро- та пило-виділень передбачає обладнання місцевої витяжної вентиляції для відсосу отруйних речовин безпосередньо від місць їх утворення. Місцеві відсоси влаштовують конструктивно вбудованими та заблокованими з обладнанням так, що агрегат не можна запустити при виключеному відсосі.

- при роботі з отруйними і забруднюючими речовинами використовують спецодяг – комбінезони, халати і фартухи;
- для захисту від лугів і кислот – гумове взуття і рукавички;
- для захисту шкіри рук, обличчя та шиї застосовують захисні пасти: антитоксичні, маслостійкі та водостійкі;
- очі від можливих опіків і подразнень захищають окулярами з герметичною оправою, масками та шоломами;
- для захисту органів дихання використовують фільтруючі та ізолюючі прилади (протигази і респіратори).

4.6 Виробниче освітлення

Виробниче освітлення організується і нормується згідно вимог ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення», залежно від:

- розряду зорової роботи, тобто її характеристики (найменшого розміру об'єкта який різниться, світлості фону, контрасту об'єкта з фоном);
- виду і системи освітлення.

Також необхідно врахувати, що передбачається оптимальне (необхідне) освітлення виробничих приміщень і робочих місць:

природне (бокове або верхнє);

штучне: робоче; аварійне; евакуаційне; охоронне; чергове.

4.7 Захист від механічних коливань

До механічних коливань відносяться: акустичний шум, вібрація, ультразвук та інфразвук.

Загальною властивістю цих фізичних процесів є те, що вони пов'язані з перенесенням енергії. При певній величині, що перевищує граничнодопустимий рівень (ГДР) і частоті, ця енергія може чинити негативний вплив на людину.

4.8 Акустичний шум

Рівень шуму у виробничих приміщеннях та на робочих місцях нормується відповідно до вимог ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» [55], в залежності від встановленого для нього ГДР.

Основними джерелами виробничих шумів, які формують шумовий режим в робочій зоні, є технологічне, інженерне обладнання та пристрої (верстати, пристрої, енергетичні та вентиляційні установки, внутрішньозаводський транспорт, тощо.).

Захист персоналу від шуму, в виробничих приміщеннях і на робочих місцях забезпечується згідно вимог ДБН В.1.1-31:2013 «Захист територій, будинків і споруд від шуму».

Проектування захисту від шуму в цехах і на території промислових підприємств полягає у визначенні за результатами акустичних розрахунків (або за результатами інструментальних вимірювань – для діючих підприємств) необхідного зниження рівнів шуму на робочих місцях і зонах постійного перебування виробничого персоналу в приміщеннях з джерелами шуму, на робочих місцях на території підприємства, в приміщеннях без власних джерел, але які потребують захисту від шуму обладнання, встановленого в іншому приміщенні або в іншій будівлі, і розробці на основі визначеного необхідного зниження рівнів шуму, комплексу заходів щодо зниження рівнів шуму до нормативних значень як в межах підприємства, так і на прилеглих до нього територіях з нормованим рівнем шуму.

Для захисту від шуму із застосуванням будівельно-акустичних заходів і засобів, на основі визначеного (за результатами акустичних розрахунків або інструментальних вимірювань) необхідного зниження рівнів шуму від джерел, в цехах і на території промислових підприємств, до

допустимих значень, проєктують (забезпечують, передбачають) наступні заходи:

- раціональне архітектурно-планувальне рішення генерального плану підприємства, його окремих цехів і приміщень, яке передбачає максимально можливе видалення об'єктів, що потребують захисту від шуму (лабораторно-конструкторських корпусів, обчислювальних центрів, адміністративних будівель управлінь і т.п.), від особливо гучних джерел (випробувальних стендів авіаційних двигунів, газотурбінних установок, компресорних станцій і т.п.);

- розміщення допоміжного обладнання (машинних залів, насосних станцій, вентиляційних камер і т.п.) в окремих приміщеннях, ізольованих від основних цехів;

- максимально можливе видалення тихих і малошумних приміщень від приміщень із інтенсивними джерелами шуму усередині будівлі;

- раціональне розміщення технологічного обладнання та робочих місць, організація зон для відпочинку, захищених від шуму;

- застосування організаційно-технічних заходів, які передбачають використання малошумного технологічного обладнання та малошумних технологічних процесів, оснащення машин і механізмів засобами дистанційного управління та автоматичного контролю, зміна способів обробки і транспортування матеріалів і т.п.;

- застосування внутрішніх і зовнішніх конструкцій, що обгороджують, будинків (перекрыттів, стін, перегородок, дверей, воріт, вікон, технологічних прорізів) з достатньою звукоізоляцією, яка забезпечує необхідне зниження шуму, що проникає через огороження;

- застосування в шумних приміщеннях звукопоглинальних конструкцій (звукопоглинаючого облицювання);

- застосування в приміщеннях з інтенсивними джерелами шуму звукоізольованих кабін спостереження та дистанційного управління, а також спеціальних боксів для найбільш шумного обладнання;

- застосування глушників шуму в системах вентиляції, кондиціонування і в інших аерогазодинамічних установках;
- віброізоляція технологічного обладнання, застосування індивідуальних віброізольованих фундаментів для обладнання зі значними динамічними навантаженнями, а також віброізоляція трубопроводів інженерних мереж;
- застосування на тонких вібруючих поверхнях технологічного обладнання вібропоглинаючих покриттів;
- застосування вібропоглинаючих та звукоізолюючих покриттів шумних повітропроводів і трубопроводів, які проходять через мал шумні приміщення;
- віброзвукоізоляцію місць проходження технологічних комунікацій (труб, повітропроводів і т.п.) через огорожувальні конструкції;
- застосування акустичних швів (розривів) в конструкціях будівель, що перешкоджають поширенню структурного шуму по будівельним конструкціям.

Якщо на робочому місці або в робочій зоні зниження рівня шуму до нормативних значень не може бути досягнуто за допомогою організації виробничих процесів, архітектурно-планувальних рішень і передбаченого комплексу акустичних засобів захисту від шуму, в цьому випадку необхідно додатково використовувати індивідуальні засоби захисту від шуму і раціональні режими праці та відпочинку персоналу.

Шум вважається в межах норми, якщо його рівні звукового тиску (еквівалентні рівні звукового тиску) в октавних смугах частот L (Лекв), рівень звуку L_A , еквівалентний L_A екв та максимальний L_A макс рівні звуку не перевищують

4.9 Вібрація

Оцінка вібраційної безпеки праці проводиться на робочих місцях конкретного виробництва при виконанні реальної технологічної операції або типового технологічного процесу.

Показники вібраційного навантаження на оператора формуються з наступних параметрів:

- віброприскорення (віброшвидкості);
- діапазону частот;
- часу впливу вібрації.

Обмеження часу впливу вібрації повинно здійснюватися шляхом встановлення для осіб вібронезбезпечних професій змінного режиму праці, який реалізується в технологічному процесі.

Режим праці повинен встановлюватися при показнику перевищення вібраційного навантаження на оператора не менше 1 дБ (в 1,12 рази), але не більше 12 дБ (в 4 рази).

При показнику перевищення понад 12 дБ (в 4 рази) забороняється проводити роботи та застосовувати машини, що генерують таку вібрацію.

Режим праці повинен встановлювати наступні вимоги:

- з раціональної організації праці протягом зміни;
- по скороченню тривалості безперервного впливу вібрації на оператора та введення перерв які регулярно повторюються (захист часом).

Раціональна організація праці протягом зміни повинна передбачати:

- тривалість робочої зміни не більш 8 год (480 хв);
- встановлення 2 регламентованих перерв, які враховуються при встановленні норми виробітку:
- тривалістю 20 хв через 1-2 год з початку зміни;
- тривалістю 30 хв приблизно через 2 год послі обідньої перерви;
- обідня перерва тривалістю не менше 40 хв приблизно в середині зміни.

Регламентовані перерви повинні використатися для активного відпочинку, лікувально-профілактичних заходів і процедур.

Для санітарного нормування і контролю вібрації використовуються середні квадратичні значення віброшвидкості (V) або віброприскорення (a), а також їх логарифмічні рівні в децибелах (дБ).

Середні квадратичні значення віброшвидкості (V) і віброприскорення (a) або їх логарифмічних рівнів в дБ в виробничих приміщеннях і на робочих місцях, при дії постійної локальної та загальної вібрації, нормуються відповідно до вимог ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації» в діапазоні октавних смуг із середньгеометричними частотами:

- для локальної вібрації – 8,0; 16,0; 31,5; 63,0; 125,0; 250,0; 500,0; 1000,0 Гц;

- для загальної вібрації – 1,0; 2,0; 4,0; 8,0; 16,0; 31,5; 63,0 Гц або в діапазоні 1/3 октавних полос 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,5; 16,0; 20,0; 25,0; 31,5; 40,0; 50,0; 63,0; 80,0 Гц.

Віброшвидкість – це похідна вібропереміщення за часом.

Віброприскорення – це похідна віброшвидкості за часом.

При оцінці вібраційного навантаження на працівника переважним параметром є віброприскорення.

Основними джерелами технологічної вібрації у виробничих приміщеннях, є технологічне та інженерне обладнання і пристрої (верстати, метало-деревообробне та ковальсько-пресове обладнання, ливарні машини, електричні машини, стаціонарні електричні установки, насосні агрегати та вентилятори).

Основними джерелами транспортно-технологічної вібрації у виробничих приміщеннях, є промислові крани, машини для завантаження мартенівських печей (завалочні) і внутрішньозаводський транспорт.

Основний спосіб забезпечення вібробезпечного - це створення і застосування вібробезпечних машин, тому що він забезпечується застосуванням методів, що знижують вібрацію в джерелі збудження.

При розробці технологічних процесів, а також проектуванні та будівництві будівель і промислових об'єктів, повинні бути використані методи, що знижують вібрацію на шляхах її поширення від джерела збудження.

Вібробезпека персоналу на підприємствах забезпечується:

- дотриманням правил і умов експлуатації машин (обладнання) і введенням безпечних технологічних процесів, використанням машин (обладнання) тільки відповідно до їх призначення, передбаченими нормативною документацією (НД);
- підтриманням технічного стану машин (обладнання), параметрів технологічних процесів і елементів виробничого середовища на рівні, передбаченому НД, своєчасним проведенням планового та попереджувального ремонту машин (обладнання);
- вдосконаленням режимів роботи машин (устаткування) і елементів виробничого середовища, виключенням контакту працюючих з вібруючими поверхнями за межами робочого місця або зони введенням огорожень, попереджувальних знаків, використанням попереджувальних написів, фарбування, сигналізації та блокувань;
- поліпшенням умов праці (в т.ч. зниженням або виключенням дії супутніх несприятливих факторів);
- застосуванням засобів індивідуального захисту від вібрації, згідно ГОСТ 12.4.002-97 «ССБТ. Средства защиты рук от вибрации. Технические требования и методы испытаний»;
- введенням і дотриманням режимів праці та відпочинку, які більш ефективно знижують несприятливу дію вібрації на людину;
- санітарно-профілактичними і оздоровчими заходами, передбаченими рекомендаціями МОЗ України та його органів;

- контролем вібраційних характеристик машин (устаткування) і вібраційного навантаження на оператора, дотриманням вимог віробезпеки і виконанням передбачених для умов експлуатації заходів.

Якщо цих заходів недостатньо, повинні використовуватися методи і засоби боротьби з вібрацією в джерелі та на шляхах її поширення.

4.10 Електромагнітні поля і випромінювання

Магнітні та електромагнітні поля, а також електромагнітні випромінювання у виробничих приміщеннях і на робочих місцях нормуються згідно вимог ДСНіП 3.3.6.096-2002 «Державними санітарними нормами і правилами при роботі з джерелами електромагнітних полів»[57] і ДСН 239-96 «Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань» [58].

Постійні магнітні поля, а також змінні ЕМП на частоті 50 Гц нормуються за магнітною (H) та електричною (E) складовим ЕМП. Одиницею напруженості магнітного поля – А/м, електричного поля – В/м).

Електромагнітні поля частотою 1 кГц – 300 МГц нормуються за інтенсивністю та енергетичними навантаженнями електричних і магнітних полів, з урахуванням часу впливу.

Рівні постійних магнітних полів протягом робочого дня (8 часів) не повинні перевищувати 8 кА/м.

ГДР електричних полів частотою 50 Гц визначаються в залежності від часу дії цього фактора на організм людини протягом робочої зміни.

Перебування в електричному полі напруженістю до 5 кВ/м включно, допускається протягом 8-ми годин (робочого дня).

При напруженості електричного поля від 20 до 25 кВ/м час перебування персоналу в електричному полі не повинен перевищувати 10 хвилин.

Перебувати в електричному полі напруженістю понад 25 кВ/м без засобів захисту забороняється.

Рівні напруженості магнітного поля частотою 50 Гц при постійному впливі не повинні перевищувати 1,4 кА/м протягом робочого дня (8 годин).

Час перебування людини в магнітному полі напруженістю понад 1,4 кА/м регламентується ДСНіП 3.3.6.096-2002 «Державними санітарними нормами і правилами при роботі з джерелами електромагнітних полів» [57].

Захист персоналу від впливу ЕМП досягається шляхом проведення організаційних, інженерно-технічних заходів, а також використання засобів індивідуального захисту.

До організаційних заходів належать:

- вибір раціональних режимів праці;
- обмеження місця і часу перебування персоналу в зоні опромінювання.

Інженерно-технічні заходи включають:

- раціональне розміщення обладнання;
- використання коштів, які обмежують надходження електромагнітної енергії на робочі місця персоналу (поглинаючі матеріали, екранування).

До засобів індивідуального захисту належать:

- захисні окуляри з металовмісними стеклами, щитки і шоломи;
- захисний одяг (комбінезони та халати з тканини яка містить метал);

Засоби захисту в кожному конкретному випадку визначаються з урахуванням робочого діапазону частот, характеру робіт і необхідної ефективності захисту.

За результатами данного розділу можна зробити висновки огляд потенційних небзпек які зустрічаються у виробництві. Та методи їх упередження та виникнення.

Запропонував планування та здійснення заходів з охорони праці виконують на основі аналізу потенційних небезпек, які впливають на людину при виконанні будь яких робіт.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Тенденції розвитку світового ринку композиційних матеріалів.

На український ринок композиційних матеріалів впливають як загальноекономічні, так і специфічні фактори. Вітчизняні компаундери конкурентоспроможні за витратами, незважаючи на імпорт добавок і наповнювачів. Стагнація попиту в цивільному секторі опосередковано компенсується через замовлення в ВПК. При стабілізації економічних умов компанії композитної галузі продовжують бачити перспективи відкладеного зростання.

За час становлення ринку композитів і компаундів в Україні до 40% зросла частка українських виробників у поставках композиційних матеріалів для автопрому; виробники поліефірних смол готові вкладати в розширення своїх працюючих на межі потужностей. «Зростання, який всі чекають в композитної галузі, щоб задовольнити попит на високотехнологічну продукцію, можуть забезпечити саме постачальники сировини і переробники, які вже є конкурентоспроможними на світовому рівні. Здійснено відбір ідей (товару, послуги, технології) за темою дипломного проекту;

В межах завдання послідовно проаналізовано та подано у вигляді таблиці 5.1 опис ідей:

Таблиця 5.1 – Опис ідеї

Зміст ідеї	Напрямки застосування (сфери)	Вигоди для споживачів (користувачів)
Використання композиційних матеріалів з метою зменшення ваги сопла.	1. Збройні сили	Отримані результати можна бути використовувати під час виробництва сопла ракети для збільшення її вантажопідйомну
	3. Ракетобудування.	

В межах завдання послідовно проаналізовано характеристику потенційного ринку та подано у вигляді табл.5.1:

Економія в галузі виробництва – в наш час одна з головних цілей будь-якої діяльності. Тому згідно табл.5.2 було проаналізовано характеристику потенційного ринку.

Таблиця 5. 2 – Попередня характеристика потенційного ринку

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Головні конкуренти	Науково-дослідні інститути України
		Наукові лабораторії галузевих підприємств
		Науково-дослідні інститути за кордоном
2	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає але повільно
3	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Потрібні великі інвестиції
4	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Потрібні сертифікації на прилади

Отже, для розуміння потенційних клієнтів було складено табл.5.3, де розберемо характеристику потенційних споживачів, які зацікавлені в цьому в першу чергу.

Таблиця 5. 3 – Попередня характеристика потенційних клієнтів

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги
1	Економія витрат на початковому етапі виробництва	Підприємства ВПК	Обидві цільові групи націлені на результат та ефективність	Потребує покращення експлуатаційних характеристик від даного методу
2		Лабораторії технічного напрямку		Потреба в створенні цієї користі

- ідентифіковано стейкхолдерів, та здійснено їх пріоритизацію та побудовано Карту стейкхолдерів, яка дозволить візуалізувати картину взаємозв'язків стейкхолдерів.

Створення карти має відбуватись у 4 етапи:

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

З метою відображення взаємозв'язків стейкхолдерів на карті видокремлено три концентричних області, в яких розміщено всіх зацікавлених осіб інноваційного проекту за можливостями впливу на них ініціатора проекту.

Область внутрішніх стейкхолдерів – область повноважень/відповідальності ініціатора. Внутрішні зацікавлені сторони знаходяться в прямій підлеглості ініціатора, що дозволяє використовувати досить прості методи адміністрування проекту.

Карта стейкхолдерів подано на рис.5.1



Рисунок 5.1 – Карта стейкхолдерів

5.2 Техніко-економічні розрахунки

5.2.1. Характеристика продукції

Метою цього розділу є обґрунтування доцільності використання композиційних матеріалів в виготовленні сопла.

В таблиці 5.4 наведено Техніко-економічні показники виробів

Метою цього розділу є обґрунтування доцільності використання нового методу.

Таблиця 5.4 – Техніко-економічні показники виробів

Найменування виробу	Базовий метод	Новий метод
Сопло	ВЖ98	ВЖ98 ВР10Т2

Для визначення грошових витрат на проведення науково-дослідної роботи складають кошторис витрат по статтях:

- матеріали;
- енергія зі сторони;
- амортизація устаткування;
- заробітна плата основна і додаткова;
- відрахування на соціальне страхування;
- накладні витрати.

У вартість матеріалів включаються витрати на матеріали для проведення дослідження (наприклад папір).

Розрахуємо вартість основних матеріалів M_O за формулою:

$$M_O = (1 + K_{ТЗ}) \cdot \sum_{i=1}^n (Ц_i \cdot N_i - Ц_{i0} \cdot N_{i0}), \quad (5.1)$$

де $K_{ТЗ}$ – коефіцієнт, що враховує транспортно-заготівельні витрати ($K_{ТЗ}=0,15$);

$Ц_i$ – ціна i -го найменування матеріалу, грн.;

N_i – необхідна потреба в матеріалі i -го найменування;

$Ц_{i0}$ – ціна зворотних відходів i -го найменування матеріалу, грн.;

N_{i0} – кількість зворотних відходів i -го найменування матеріалу;

n – кількість найменувань матеріалів.

Вихідні дані і розрахунки вартості матеріалів занесемо в таблицю 5.5.

Таблиця 5.5 – Витрати на матеріали для проведення НДР

Матеріал	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Сума витрат, грн.
Папір формату А4	шт.	500	0,17	85,00
Флеш-накопичувач	шт.	1	200,00	200,00
Картридж на принтер	шт.	1	335,00	335,00
Ручка	шт.	5	8,00	40,00
Олівець	шт.	2	12,00	24,00
Маркер	шт.	4	15,00	60,00
Ластик	шт.	1	7,00	7,00
Усього				751,00

Для розрахунку витрат на електроенергію E використовуємо формулу:

$$E = \frac{P_y \cdot \Phi_{ef} \cdot K_e \cdot C_e}{KKД}, \quad (5.2)$$

де P_y – установлена потужність енергетичних струмоприймачів устаткування, кВт;

Φ_{ef} – ефективний фонд часу роботи даного виду устаткування, год;

K_e – коефіцієнт використання енергетичних установок по потужності і часу ($K_e = 0,9$);

C_e – ціна 1 кВт·година електроенергії ($C_e = 2,68$ грн. (з НДС)).

$KKД = 0,9$.

Розрахунки використання електроенергії приведені в таблиці 5.6

Таблиця 5.6 – Розрахунок вартості енергоресурсів

Найменування устаткування	Вид енергоресурсів	Установлена потужність, кВт	Тривалість використання, год.	Тариф, за кВт год, грн.	Вартість енергоресурсів, грн.
1. Ноутбук	Е/енергія	0,6	190	2,68	305
2. Принтер	Е/енергія	0,25	20		13,40
3. Сканер	Е/енергія	0,1	28		7,50
Усього:					365,50

До спеціального обладнання належить таке обладнання, яке використовується тільки для проведення окремої дослідної роботи. Вартість спеціального устаткування для проведення НДР визначають на підставі їхньої кількості, цін по прейскурантах. Питома вага в загальній собівартості складає 20%. Результати розрахунку занесено до таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Розрахунок вартості спец обладнання

Устаткування	Марка, ДСТ	Кількість на тему	Ціна за одиницю, грн.	Вартість, грн.
1. Ноутбук	Acer Nitro 5	1	20148	20148
2. Принтер	Canon Pixma TS705	1	1840	1840
3. Сканер	Canon CanoScan LIDE 300	1	1727	1727
Усього				23715

Розрахуємо суму амортизаційних відрахувань. Так як основна робота проводиться на комп'ютері, розрахуємо для нього амортизаційні відрахування. Ціна обладнання – 23715 грн. Результати розрахунку занесені у таблицю 5.8.

Таблиця 5.8 – Розрахунок суми амортизаційних відрахування

Найменування устаткування	Балансова вартість, грн.	Нормативний строк експлуатації, %	Зайнятість устаткування, год.	Річні амортизаційні відрахування, грн
1. Ноутбук	20148,00	5	190	4029,60
2. Принтер	1840,00	3	20	613,33
Найменування устаткування	Балансова вартість, грн.	Нормативний строк експлуатації, %	Зайнятість устаткування, год.	Річні амортизаційні відрахування, грн

Продовження таблиці 5.9 – Розрахунок суми амортизаційних відрахування

Найменування устаткування	Балансова вартість, грн.	Нормативний строк експлуатації, %	Зайнятість устаткування, год.	Річні амортизаційні відрахування, грн
3. Сканер	1727,00	3	28	575,66
Усього:				5218,59

Розрахуємо заробітну плату всіх категорій працівників, що безпосередньо зайняті в процесі проведення всіх етапів НДР. Сума заробітної плати розраховується на основі зайнятості виконавців по окремих етапах робіт

і середньоденного заробітку для кожної категорії персоналу. Результати розрахунку занесені в таблицю 5.10.

Таблиця 5.10 – Заробітна плата

Професія (посада)	Місячний оклад, грн.	Середньо денна зарплата, грн./день	Кількість виконавців	Зайнятість НДР, днів	Заробітна плата, грн.
Науковий співробітни к	7750	352,17	1	52	18312,84
Науковий консультан т	5320	241,81	1	19	4594,39
Усього	-	-	2	-	22907,23

Сума по основній заробітній платі складає 22907,23 грн. Додаткова плата приймається 12% від основної заробітної плати, що складає 2748,86 грн. Підсумкова сума заробітної плати складає 25656,09 грн..

Єдиний соціальний внесок – 22% (5644,34 грн.).

Складемо кошторис усіх витрат, результати розрахунку занесемо в таблицю 5.11.

В результаті отримали, що сума усіх витрат, необхідних для проведення НДР, складає 71996,365.

Таблиця 5.11 – Кошторис витрат на виконання НДР

Вид витрат	Сума витрат, грн.	Процент витрат
Основні матеріали	751,00	1,04
Амортизаційні відрахування	5218,59	7,25
Енергоносії	365,50	0,51
Основна заробітна плата	22907	31,82
Додаткова заробітна плата	2748,9	3,82
Відрахування на соціальні потреби	5644,3	7,84
Накладні витрати (150% від основної заробітної плати)	34361	47,73
Разом	71996	100

5.4 Розрахунок економічної ефективності НДР

Ефективність прикладних НДР визначається, як зіставлення річного економічного ефекту від застосування результатів розрахункових досліджень в умовах виробництва та використаних капіталовкладень для здійснення досліджень та втілення їх у виробництво.

$$E_{\text{фак}} = \frac{\text{Економ.ефект}}{\text{Капіталовкладення}}. \quad (5.6)$$

Зіставляючи фактичну економічну ефективність з нормативною ($E_n=0,10\dots0,15$), робиться висновок про доцільність досліджень. Якщо $E_{\text{фак}} >$ або $=E_n$ то дослідження визнаються економічно ефективними. У зворотному випадку дослідження не слід виконувати, тому що економічний зиск від таких досліджень малий. Економічну ефективність досліджень можливо оцінити по строку окупності витрат на їхнє проведення та втілення.

$$T_{\text{ок}}^{\text{фак}} = \frac{\text{Капіталовкладення}}{\text{Економ.ефект}}. \quad (5.7)$$

Фактичний строк окупності капіталовкладень зіставляється з нормативним строком окупності капіталовкладень, прийнятий для промисловості (приблизно 6 років), і на основі порівняння робиться висновок про доцільність досліджень.

Для теоретичних досліджень у більшості випадків важко чи навіть неможливо розрахувати економічний ефект, тому доцільно визначити їхню техніко-економічну ефективність з урахуванням наступних показників:

- важливість дослідження;
- складності розробки;
- результативності й можливості використання.

Важливість теоретичного дослідження оцінюють по його призначенню:

- рішення проблемних питань;
- задоволення вимог спеціальної техніки; пошук принципово нових конструктивних і технологічних рішень і т.п.

Складність виконання роботи визначають порівнянням отриманих результатів даного дослідження з результатами відомих аналогічних досліджень з обліком грошових і трудових витрат на їхнє проведення.

Результативність НДР можна визначити по повноті рішень поставленого завдання: отриманий результат відповідає плановому, задовільний (часткове рішення) чи негативний.

Аналіз залежності між цими показниками й витратами на їхнє досягнення дає можливість кількісної оцінки техніко-економічної ефективності теоретичних НДР по формулі:

$$K_{\text{НДР}} = \frac{J^n \cdot R \cdot T}{B_{\text{НДР}} \cdot t_{\text{НДР}}}, \quad (5.8)$$

де $K_{\text{НДР}}$ – рівень ефективності дослідження (коефіцієнт техніко-економічної ефективності НДР);

J^n – важливість роботи; R – результативність роботи;

T – технічна складність виконання НДР;

$B_{\text{НДР}}$ – витрати на проведення НДР; $t_{\text{НДР}}$ – час проведення НДР;

n – показник використання результатів НДР ($n = 0$ – результати НДР не використовуються; $n = 1$ – результати НДР використовуються частково; $n = 2$ – результати НДР використовуються в дослідно-конструкторських роботах (ДКР); $n = 3$ – результати НДР можуть бути використані без проведення ДКР).

При значенні $K_{\text{НДР}} \geq 1$ дослідницька робота вважається ефективною. Наприклад, для НДР, у яких $B_{\text{НДР}} < 100000$ тис. грн. і $t_{\text{НДР}} \leq 2$ років, можна застосовувати значення $J=2..5$; $R=2..5$; $T=1..3$ (таблиця 5.12).

Таблиця 5.12 – Значення оцінних факторів

Оцінні фактори	J	R	T	n
Припустимі значення	2...5	1...4	1...3	1...8
Прийняті значення	4	4	3	4

Отже, розрахуємо $K_{\text{НДР}}$, при $J^n = 4^n$; $R=4$, бо отриманий результат відповідає плановому і всі поставлені завдання виконано у повному обсязі; $T = 3$, тому що при виконанні розрахунків використовувався числовий метод; $B_{\text{НДР}} = 71996,365$; $t_{\text{НДР}} = 52$ днів або 0,14 року; $n = 5$.

$$K_{HDP} = \frac{4^5 \cdot 4 \cdot 3}{71996,365 \cdot 0,14} = 1,21$$

Після розрахунку (5.8) отримаємо рівень ефективності дослідження $K_{HDP} = 1,21$. Це більше 1, тому робимо висновок, що дана дослідницька робота є ефективною. Використання композиційних матеріалів дасть змогу збільшити вантажопідйомність засоба на 21%.

ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень сформулювали наступні висновки:

1. У даній роботі отримали подальший розвиток рішення наукової задачі, щодо розробки жароміцних листових КМ, які можуть працювати при температурах до 1300 °С.
2. Вивчено вплив термічних технологічних нагрівів на структуру і властивості КМ з матрицею з нікелевого сплаву ВЖ98, що зміцнений волокнами з вольфрам-ренієвого сплаву ВР10Т2.
3. Визначені значення технологічних параметрів консолідації КМ системи ВЖ98 – ВР10Т2, що забезпечують збереження короткочасної міцності складових.
4. Досліджено можливості різних методів консолідації КМ системи ВЖ98 – ВР10Т2. При цьому експериментально показано доцільність застосування контактної зварювання для консолідації складових даного КМ.
5. Використання запропонованого КМ дасть змогу збільшити вантажопідйомність засоба на 21%. Рівень ефективності дослідження $K_{НДР}$ становить 1,21.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Карпинос Д.М. Тучинський Л.І. Вишняков Л.Р. Нові композиційні матеріали. Київ: Вища школа. 1977. 275 с.
2. Келлі А. Високо міцні матеріали. М.: Мир. 1976. 261с.
3. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. М.: Машиностроение 1981. 452с.
4. Портной К.І. Бабич Б.Н. Светлов І.Д. Композиційні матеріали на нікелевій основі. М.: Металургія. 1979. 264 с.
5. Бабич Б.Н., Кустов Ю.А., Портний К.І. Новий дисперсноукріплений сплав на нікелевій основі ВДУ-3. *Композиційні матеріали*. М.: Наука. 1981. 197-201 С.
6. Гуляєв А.П. Масленніков С.Б. Перспективи розвитку жароміцних сплавів. Структура й властивості жароміцних металевих матеріалів. М.: Наука. -1973. 29–41 С.
7. Заклинд М., Лемке Ф., Джордж Ф. Кристалізація евтектик як метод формування монокристалічними волокнами. *Монокристалічні волокна й армування ними матеріали*. М.: Мир. -1973 332–379 С.
8. Кендал Є.Г. Композиційні матеріали із металевою матрицею, армованною високоміцними та високомодульними вуглецевими волокнами. *Композиційні матеріали із металевою матрицею*. М.: Машинобудування. 1978. т.4. 338–416 С.
9. Кондрашова Н.В. *Принцип створення високотемпературних литійних жароміцних карбідоукріплених сплавів на основі легovanого інтерметаліду Ni3Al*. Автореферат дисс. На отримання наукової ступені канд.техн.наук. М. ВІАМ. 199-211 С.
10. Портной К.І. Структура та жароміцність композиційних матеріалів. *Структура і властивості жароміцних металевих матеріалів*. М.: Наука. 1973. 111–117 С.

11 Портной К.І., Бабич Б.Н., Люкевич В.І. та інші. Жаромічні дисперсноукріплені нікелеві сплави з нетоксичними закріплювачами. *Волокнисті та дисперсноукріплені композитні матеріали*. М.: Наука. 1976. 187–193 С.

12 Фридрих Е., Копьєв І.М., БУсалов Ю.Е., Вейс Г.Ю., Вільхельм С. Отримання стрічок композиційного матеріалу алюміній-сталь методом протяжки волокон через розплав *Фізика та хімія обробки матеріалів*. 1975. №6. 115–119 С.

13 Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок [Текст] : НПАОП 40.1–1.32–01. На заміну глав 5.4 5.5 7.1 7.2 7.3 7.4 7.6 Правил устроюства електроустановок, затв. Міненерго СРСР 06.07.1984 р. ; чинний від 2002–01–01. К. : Мінпраці України, 2001. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01/card2#Card> (Нормативно-правовий акт охорони праці)

14 Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин [Електронний ресурс]: ДСанПіН 3.3.2.007-98. Чинний від 1998–12–10. К. : МОЗ України, 1998. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=2445>. (Державні санітарні правила та норми)

15 Опалення, вентиляція та кондиціонування [Текст]: ДБН В.2.5-67:2013. На заміну СНиП 2.04.05-91 ; крім розділу 5 та додатка 22.; чинний від 2014-01-01 К.: Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с. (Державні будівельні норми України)

16 Природне і штучне освітлення. [Текст]: ДБН В.2.5–28–2018. На заміну ДБН В.2.5–28–2006 ; чинний з 2019–03–01. К. : Мінрегіон України, 2018. 133 С. (Державні будівельні норми України)

17 Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації, [Електронний ресурс]: ДСН 3.3.6.039-99. Чинний від 1999–12–01. К.: МОЗ України, 1999. Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99> (Державні санітарні норми)

18 Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів [Електронний ресурс]: ДСНіП 3.3.6.096–2002. Чинний від 2003–03–13 К.: МОЗ України, 2003 URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0203-03> (Державні санітарні нор