

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

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

Кафедра фізичного матеріалознавства та термічної обробки

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Мирослав КАРПЕЦЬ

«__» _____ 2024 р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Інжиніринг та комп'ютерне
моделювання в матеріалознавстві»
спеціальності 132 «Матеріалознавство»**

**на тему: «Фазовий склад, структура та фізико-механічні властивості
високоентропійного сплаву TiZrHfNbTaNiCu»**

Виконав:

Здобувач ВО IV курсу, групи ФМ-01

Бут Микола Вікторович _____

Керівник:

к.т.н., ст. викл. Вербицька Тетяна Іванівна _____

Консультант з розділу охорони праці:

зав. каф. д.т.н., професор Левченко О. Г. _____

Консультант з економічно-організаційного розділу

доцент, к.е.н., доцент Нараєвський С. В. _____

Консультант з питань нормоконтролю:

ст. викл. Шаповалова Н.А. _____

Рецензент:

к.т.н., доцент каф. ЛВ Лук'яненко І.В. _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає
запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Здобувач ВО _____

Київ – 2024 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий інститут матеріалознавства
та зварювання ім. Є.О. Патона
Кафедра фізичного матеріалознавства та термічної обробки**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 132 «Матеріалознавство»

Освітньо-професійна програма «Інжиніринг та комп'ютерне моделювання в матеріалознавстві»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Мирослав КАРПЕЦЬ

«__» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу здобувачу ВО

Буту Миколі Вікторовичу

1. Тема роботи «Фазовий склад, структура та фізико-механічні властивості високоентропійного сплаву TiZrHfNbTaNiCu», керівник роботи Вербицька Тетяна Іванівна, к.т.н. ст. викл., затверджені наказом по університету від «30» травня 2024 р. № 2210-с
2. Термін подання здобувачем ВО роботи: 10.06.2024
3. Вихідні дані до роботи: сплав TiZrHfNbTaNiCu; результати переддипломної практики.
4. Зміст роботи: літературний огляд; матеріали та методика досліджень; результати та їх обговорення; економічна частина; охорона праці.
5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо): 68 сторінок, 11 таблиць, 17 рисунків.

6. Консультанти розділів роботи *

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Організаційно економічна частина	Нараєвський С.В. доцент		
Охорона праці	Левченко О.Г. зав. каф., професор		
Нормоконтроль	Шаповалова Н.А. ст. викл.		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
	Видача завдання	15.04.2024	
	Огляд літератури	09.05.2024	
	Освоєння методик дослідження	16.05.2024	
	Виконання експериментальних досліджень	23.05.2024	
	Отримання результатів, їх аналіз	30.05.2024	
	Оформлення дипломної роботи	06.06.2024	
	Попередній захист	07.06.2022	
	Захист на засідання ЕК	19.06.2024	

Здобувач ВО

Микола БУТ

Керівник

Тетяна ВЕРБИЦЬКА

РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 68 сторінок, 11 таблиць, 17 рисунків, 49 літературних джерел.

ВИСОКОЕНТРОПІЙНІ СПЛАВИ, МАРТЕНСИТНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ, ФУНКЦІОНАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ З ПАМ'ЯТТЮ ФОРМИ.

Об'єкт дослідження: структурно-фазові перетворення у високоентропійному сплаві TiZrHfNbTaNiCu.

Предмет дослідження: високоентропійний сплав TiZrHfNbTaNiCu.

Мета роботи: дослідити формування фазового складу та структури у високоентропійному сплаві TiZrHfNbTaNiCu в литому стані.

Методи дослідження: дослідження термодинамічних властивостей зразків, оптична мікроскопія та скануюча електронна мікроскопія, рентгеноструктурний фазовий аналіз, дюрOMETричний аналіз.

Результати дослідження та їх новизна: Було виявлено, що в процесі кристалізації в литому сплаві TiZrHfNbTaNiCu утворилась структура, що має дендритний характер. Дендрити, мають осі першого та другого порядку.

ABSTRACT

Diploma work: 68 pages, 11 tables, 17 figures, 49 sources.

HIGH-ENTROPY ALLOYS, MARTENSITIC TRANSFORMATIONS,
FUNCTIONAL SHAPE MEMORY MATERIALS.

Object of research: structural and phase transformations in the high-entropy TiZrHfNbTaNiCu alloy.

Subject of research: high-entropy TiZrHfNbTaNiCu alloy.

The purpose of the work: to investigate the formation of the phase composition and structure in the high-entropy TiZrHfNbTaNiCu alloy in the as-cast state.

Research methods: study of thermodynamic properties of samples, optical microscopy and scanning electron microscopy, X-ray structural phase analysis, durometric analysis.

Research results and their novelty: It was found that in the process of crystallization in the cast TiZrHfNbTaNiCu alloy, a dendritic structure was formed. Dendrites have axes of the first and second order.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ	9
ВСТУП.....	10
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	11
1.1 Мартенситні перетворення	11
1.2 Суть ефекту пам'яті форми.....	15
1.3 Класифікація ефектів пам'яті форми	16
1.3.1 Ефекти, обумовлені термомеханічним наведенням	16
1.3.2 Ефекти, зумовлені механотермічним наведенням.....	18
1.4 Застосування сплавів з ефектом пам'яті форми	19
1.4.1 Трансформуючі конструкції	19
1.4.2 Термосилові виконавчі елементи	20
1.4.3 Надпружні елементи.....	20
1.4.4 Медичні імплантати та інструменти	21
1.5 Високоентропійні сплави.....	21
1.6 Висновки до розділу 1	23
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	24
2.1 Вибір сплавів та підготовка зразків для дослідження	24
2.2 Термічна обробка зразків	25
2.3 Оптична мікроскопія	25
2.4 Рентгеноструктурний фазовий аналіз	26
2.5 Скануюча електронна мікроскопія.....	27
2.6 ДюрOMETричний аналіз	28
2.7 Висновки до розділу 2.....	29

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	30
3.1 Дослідження мікроструктури сплаву $Zr_{90}Ta_{10}$	30
3.2 Дослідження мікроструктури сплаву $TiZrHfNbTaNiCu$	31
3.3 Дослідження залежності теплового потоку від температури в сплаві $(TiZrHfNbTa)_{50}(NiCu)_{50}$	32
3.4 Фізико-механічні властивості сплаву $TiZrHfNbTaNiCu$	35
3.5 Результати рентгенофазового аналізу	37
3.6 Структурні властивості сплаву системи $TiZrHfNbTaNiCu$	38
3.7 Висновки до розділу 3	40
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	41
4.1 Науково-технічна актуальність НДР	41
4.2 Мета і завдання НДР	42
4.3 Розрахунок планових витрат на проведення НДР	42
4.3.1 Витрати на оплату праці.....	43
4.3.2 Визначення розміру єдиного соціального внеску.....	44
4.3.3 Матеріали необхідні для проведення досліджень	44
4.3.4 Витрати на спеціальне обладнання	45
4.3.5 Вартість послуг сторонніх організацій.....	46
4.3.6 Визначення витрат на виробничі відрядження	46
4.3.7 Інші прямі невраховані витрати по темі.....	46
4.3.8 Накладні витрати	46
4.3.9 Визначення планової кошторисної вартості теми	47
4.4 Науково-технічна ефективність НДР.....	48
4.5 Висновки до розділу 4.....	51
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	53

5.1 Правові та організаційні питання охорони праці на підприємстві.....	53
5.2 Аналіз параметрів приміщення	54
5.3 Аналіз освітленості приміщення	56
5.4 Шум та вібрація	57
5.5 Електробезпека	58
5.6 Пожежна безпека	59
5.7 Висновки до розділу 5	61
ВИСНОВКИ.....	62
CONCLUSIONS	63
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	64

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

МП – мартенситні перетворення

ЕПФ – ефект пам'яті форми

ВЕС – високоентропійні сплави

SEM – скануюча електронна мікроскопія

XRD – рентгенівська дифракція

ГЦУ – гексагональна щільноупакована кристалічна решітка

ГЦК – гранецентрована кубічна кристалічна решітка

ОЦК – об'ємноцентрована кубічна кристалічна решітка

ВФ – відновлення форми

МПФ – матеріали з пам'яттю форми

ВСТУП

Останнім часом високоентропійні сплави (ВЕС) стали активною областю дослідження металів. На сьогоднішній день накопичено значні дані щодо структури та властивостей цих сплавів [1]. Загалом існує два широкі класи ВЕС а саме такі, що мають ГЦК та ОЦК ґратки. Характерною особливістю ОЦК високоентропійних сплавів є їх висока міцність (твердість), яка в багатьох випадках поєднується з достатньою пластичністю. Крім того, більшість з них є тугоплавкими сплавами.

Ці властивості окреслюють область їх використання як перспективних конструкційних матеріалів. Типовими елементами високоентропійних сплавів є Ti, Zr, Hf і Ta. Водночас на основі ВЕС може бути створений новий клас функціональних сплавів, а саме високоентропійні сплави з пам'яттю форми [2]. Цей клас сплавів заснований на системах TiZrHfNiCu і TiZrHfCoNiCu. Ці композиції характеризуються високим опором руху дислокацій і низьким коефіцієнтом дифузії. Це суттєво покращує експлуатаційні характеристики функціональних елементів, виготовлених із цих ВЕС, зокрема, їх ресурс.

Ця робота є продовженням досліджень сплавів на основі TiZrHfNiCu щодо наявності мартенситного перетворення, ефекту пам'яті форми та впливу концентрації танталу та ніобію на їхні функціональні властивості.

Метою роботи було дослідити формування фазового складу та структури у високоентропійному сплаві TiZrHfNbTaNiCu в литому стані.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Мартенситні перетворення

Відкриття мартенситного перетворення відбулося під час дослідження загартування і спочатку його розглядали лише як процес формування мартенситу в сталях. Проте пізніше було встановлено, що мартенситне перетворення має широке застосування, оскільки його характерні особливості спостерігаються не лише в сталях, але й в інших сплавах заліза, кольорових сплавах та навіть у напівпровідниках. У наш час під мартенситним перетворенням розуміється особливий тип фазового переходу в твердому тілі, який відбувається за бездифузійним, зсувним механізмом, відомим як мартенситний, і мартенситом називається продукт цього перетворення [1].

Можна виділити наступні характерні риси мартенситного перетворення в сталі [2]:

1. Мартенситне перетворення має бездифузійний характер. Концентрація вуглецю в мартенситі така ж, як і у вихідному аустеніті, мартенсит – перенасичений твердий розчин вуглецю в залізі.

2. Механізм $A \rightarrow M$ перетворення носить зсувний характер, тому напруги, що виникають при охолодженні та перетворенні, є визначальними для кінетики мартенситного перетворення. У процесі перетворення атоми зміщуються щодо один одного на відстані, що не перевищують міжатомні; при цьому сусіди будь-якого атома в аустеніті залишаються його сусідами у мартенситі.

3. Незважаючи на те, що відносні переміщення атомів малі, абсолютні зміщення атомів при мартенситному перетворенні можуть досягати значних макроскопічних розмірів (при цьому відбувається зміна форми перетвореного об'єму аустеніту), що є наслідком механізму зсуву перетворення і призводить до утворення на поверхні полірованого шліфу сталі характеру рельєфу (рис. 1.1) подібно до спостерігається при пластичній деформації.

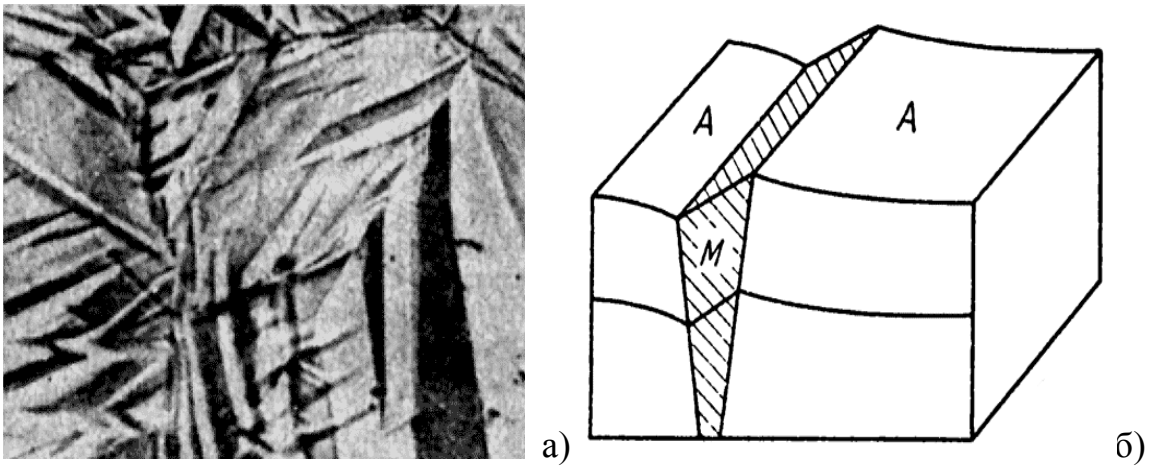


Рисунок 1.1 – Рельєф (а) на поверхні шліфу, що виникає в результаті мартенситного перетворення, та схема рельєфу (б) [3]

Численними рентгеноструктурними дослідженнями було встановлено, що тетрагональність решітки мартенситу сталей збільшується зі зростанням вмісту вуглецю залежно від $c/a = 1 + 0.046p$ (p – масовий вміст вуглецю) при цьому параметр c зростає, параметр a зменшується. Тетрагональність решітки мартенситу пояснюється спотворенням решітки за рахунок впровадження атомів вуглецю в її міжвузля (рис. 1.2) [4].

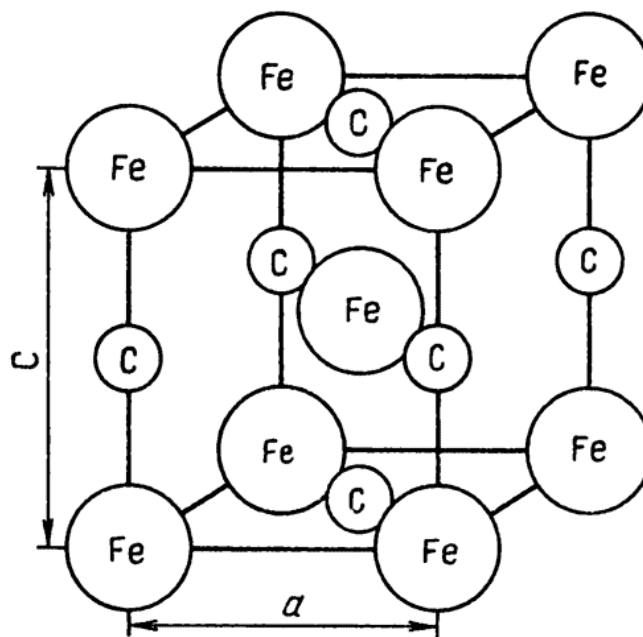
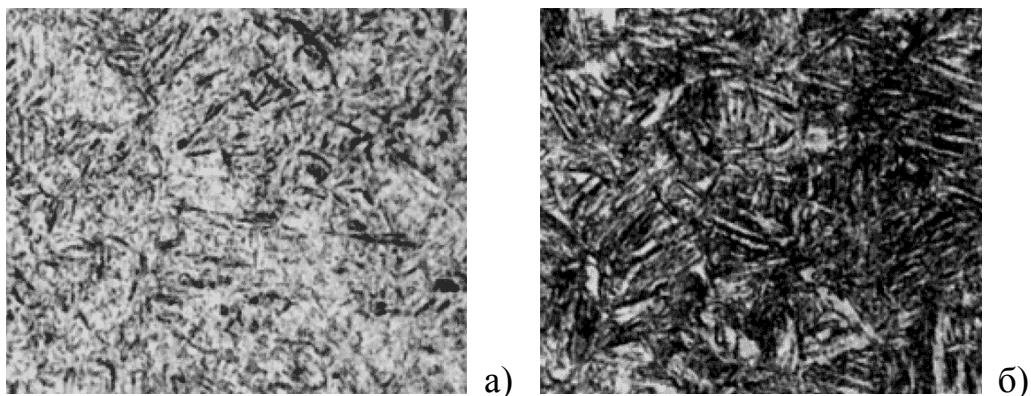


Рисунок 1.2 – Об'ємноцентрована тетрагональна гратка [3]

Усі октаедричні міжвузля по осі «с» зайняті атомами вуглецю. У реальному випадку, навіть при максимальному вмісті вуглецю в мартенситі (~2 %), один атом вуглецю припадає на чотири елементарні осередки мартенситу [5].

У кольорових сплавах (на основі Ti, Cu, Au та ін) можливий перебіг мартенситних перетворень з різними типами кристалоструктурних перебудов, при цьому мартенситні фази можуть мати структуру ГЦК; гексагональну, ромбічну та ін. На відміну від залізних, у кольорових сплавів фаза, з якої утворюється мартенсит, називається не аустенітним, а вихідною, матричною або високотемпературною, термін же мартенсит зберігається для всіх типів сплавів.

Металографічними дослідженнями [6 – 8], проведеними 1930 – 1950-х роках, було встановлено, що в загартованих вуглецевих сталях кристали мартенситу мають форму пластин або лінз, а перетин площини шліфу пластинами мартенситу надає останнім вигляд голок (рис. 1.3). Розрізняють крупногольчастий мартенсит, який утворюється у великих зернах аустенітами, як правило, у сталях з відносно низькою температурою M_n , і дрібногольчастий мартенсит, що утворюється в дрібних зернах аустенітних. При дуже малих розмірах мартенситних голок, коли вони практично невиразні у світловому мікроскопі, мартенсит іноді називали неправильним з погляду термінології назвами - безструктурним, масивним.



а – дрібногольчастий; б - крупногольчастий, збільшення в 500 разів

Рисунок 1.3 – Структура мартенситу у сталях масового призначення [3]

Застосування на початку 1960-х методу дифракційної електронної мікроскопії до вивчення будови мартенситу у різних сплавах і сталях разом із методом світлової мікроскопії дозволило встановити [9], що мартенситні кристали мають складну внутрішню будову. Було виділено два основні структурні типи мартенситу: пластинчастий (двійниковий) і рейковий (дислокаційний).

Пластинчастий мартенсит утворюється у вуглецевих і легованих сталях і в сплавах із відносно низькою температурою M_n (нижче за 200 °С). Характерне розташування кристалів пластинчастого мартенситу, що виявляється у світловому мікроскопі – вибудовування у вигляді «зигзагів» (рис. 1.4, б, в). Мартенситні пластини, що утворилися в першу чергу, можуть «пройти» через все зерно аустеніту, а ті, що утворюються при нижчій температурі, розташовуються між ними. Іноді у перерізі пластини можна розрізнити середню лінію підвищеної травимості – так званий мідриб (рис. 1.4 а). Кристали мартенситу з мідрибом називаються частково подвійними [10]. Зі зниженням температури M_n ширина мідрибу збільшується і при низьких температурах утворення кристали мартенситу стають повністю подвійними. Подвійні мартенситні кристали зазвичай вже частково двійниковані і виглядають металографічно як тонкі довгі пластини з паралельними гранями. У вуглецевих сталях 0,5 % – 1,2 % С частково подвійні пластини мартенситу зазвичай виглядають як крупногольчата структурна складова (рис. 1.3, а).



а – частково двійникований, збільшення в 300 разів; б-г – повністю двійникований, збільшення в 400 разів

Рисунок 1.4 – Структура пластинчатого (двійникового) мартенситу [11]

Утворення різних структурних типів мартенситу визначається насамперед температурою його формування, що залежить від складу сплаву та інших факторів. Необхідно враховувати, що якщо інтервал $M_H - M_K$ широкий, то в структурі присутні різні типи кристалів мартенситу, що утворилися за різної температури. При вищій температурі, коли міцність аустеніту низька, утворюється дислокаційний мартенсит. Зі зниженням температури частка рейкового мартенситу зменшується і зростає частка двійникового мартенситу, що вказує на тісний зв'язок між мартенситним перетворенням та здатністю аустеніту до пластичної деформації. Відомо, що при високій температурі пластична деформація аустеніту відбувається шляхом зрушень, а при низькій – двійникуванням [12]. Наявність напруг II роду (між по-різному орієнтованими кристалами) для реалізації перетворення показує той факт, що в монокристалних аустенітних порошках мартенситне перетворення не йде, тоді як у полікристалних зразках того ж складу відбувається мартенситне перетворення.

1.2 Суть ефекту пам'яті форми

Цей ефект полягає у можливості ненавантаженого матеріалу зберігати деформацію 10 % – 15 % під впливом зовнішньої напруги та зміни температури, будь то під час нагрівання або зняття зовнішньої напруги (наделастичність). Деформація може накопичуватися під час активного навантаження або за умови зміни температури сплаву, що зазнає одновісний або зсувний напруговий вплив [13].

Сплави з пам'яттю форми, окрім нікеліду титану, включають AuCd, Cu-Al-Zn, AgCd та інші [14, 15]. Характер їхнього перетворення, різниця в температурах прямої та зворотної реакцій (гістерезис) та інші ознаки є помітними. Високотемпературна модифікація відома як аустеніт, а низькотемпературна – як мартенсит. Температури мартенситних перетворень значно змінюються в залежності від хімічного складу сплавів, а також їхньої термічної та механічної

обробки. Наприклад, характеристичні температури нікеліду титану лежать у межах $30 \text{ °C} - 80 \text{ °C}$, рідко виходячи за цей інтервал, проте легування залізом знижує їх приблизно на $150 \text{ °C} - 200 \text{ °C}$, тобто до $-170 \text{ °C} - -70 \text{ °C}$.

1.3 Класифікація ефектів пам'яті форми

В залежності від того, зміна якого параметра є визначальним у процесі повернення наведеної деформації, всі ефекти, пов'язані з відновленням форми (ВФ), можна розділити на дві групи [16]:

- 1) ЕПФ, зумовлені термомеханічним наведенням;
- 2) ЕПФ, зумовлені механотермічним наведенням.

Перша категорія ефектів переважно зумовлена зміною температури, тоді як напруга відіграє менш важливу роль. Друга категорія ефектів спостерігається при зміні напруги, при цьому температура лише створює необхідні термодинамічні умови. Зазвичай, у всіх випадках додавання напруги необхідне для виникнення деформації.

1.3.1 Ефекти, обумовлені термомеханічним наведенням

Ця група пов'язана із відновленням накопиченої деформації під час зворотного мартенситного перетворення під час нагрівання до температур вище температури активізації. В залежності від способу наведення та механізму накопичення деформації, можна виділити наступні ефекти [17, 18].

Односторонній або незворотній ЕПФ. Класичним прикладом такого незворотнього ефекту є повернення пам'яті при нагріванні після деформації зразків зі структурою атермічного мартенситу або напруженого мартенситу. Ще одним прикладом незворотнього ЕПФ є ефект, коли накопичення деформації відбувається через пластичність мартенситної фази під час охолодження в діапазоні $M_H - M_K$ при наявності зовнішніх напруг.

Розглянутий ЕПФ при різних способах наведення деформації необоротний у тому сенсі, що для його повторної реалізації необхідно провести повторне навантаження для накопичення деформації. Основними характеристиками незворотного ЕПФ є наведена деформація (ϵ_H), відновлена деформація (ϵ_B), ступінь ВФ ($СВФ = (\epsilon_B/\epsilon_H) \times 100 \%$) та температури початку та кінця ВФ. При ВФ за умов зовнішнього протидії визначають також питому роботу [19].

Оборотний ефект пам'яті форми. Цей ефект проявляється при множинних циклах нагрівання та охолодження через діапазон, що включає прямий та зворотний мартенситний перетворення. Існують два методи здійснення оборотного зміщення при термоциклюванні. Перший метод передбачає проведення термоциклів за умови впливу зовнішньої напруги, коли деформація, накопичена завдяки реалізації пластичності під час прямого мартенситного перетворення, повністю або частково повертається при нагріванні під впливом тієї самої зовнішньої напруги. За такої схеми можна досягти значної (до 100 %) оборотної деформації, однак, величина цієї деформації зменшується зі зростанням кількості циклів нагрівання та охолодження [20].

Другий метод полягає в передньому впливі на матеріал, що створює внутрішні напруги, спрямовані у певному напрямку. Ці напруги дозволяють матеріалу виявити пластичність під час мартенситного перетворення та повернути накопичену деформацію під час зворотного мартенситного перетворення. У такому випадку оборотна деформація досягає 4 %. Внутрішня напруга може бути викликана [21]:

- а) пластичною деформацією матеріалу у мартенситному стані або стані вихідної фази;
- б) одноразовим нагріванням або охолодженням під постійною напругою через інтервал прямого та зворотного МП;
- в) термоциклюванням під напругою через інтервал прямого та зворотного МП;
- г) утворенням дисперсних виділень у вихідній фазі з наступною пластичною деформацією.

У літературі [22 – 25] зустрічаються також назви: двосторонній, двонаправлений, двоколіїний ефект та багатооборотна пам'ять форми. Усі вони належать до оборотного ЕПФ.

1.3.2 Ефекти, зумовлені механотермічним наведенням

Ця група ефектів пов'язана з поверненням накопиченої при навантаженні в ізотермічних умовах деформації при зменшенні або зміні знаку напруги, що деформує. Вона поєднується поняттям – псевдо пружність або надпружність, які по суті є синонімами. Залежно від механізму накопичення деформації, а також співвідношення температури, при якій виробляється механічна дія, з характеристичними температурами МП виділяють такі основні види псевдо пружності [26, 27].

Надпружність. Цей ефект зумовлений утворенням мартенситу напруги.

Надпружність мартенситних перетворень. Цей ефект не має спеціальної назви, хоча за своєю природою це надпружність, і для його позначення доцільно використовувати термін надпружність мартенситного перетворення. Його суть полягає в тому, що при навантаженні в мартенситному стані можливе накопичення деформації за рахунок політипізму мартенситних щільноупакованих структур, що виражається в переходах однієї мартенситної структури в іншу шляхом зміни послідовності укладання щільноупакованих площин і її повернення при розвантаженні.

Різновидами надпружності є також феропружність та гумоподібна поведінка, які з'являються при навантаженні в мартенситному стані [28].

Феропружність. Вона обумовлена накопиченням деформації при знакозмінному навантаженні у мартенситному стані. Площа петлі, що утворюється (подібно до петлі магнітного гістерезису феромагнетиків) характеризує механічну енергію, розсіяну мартенситною структурою за один цикл деформування, і визначає її демпфуючу здатність [29, 30].

1.4 Застосування сплавів з ефектом пам'яті форми

Створення пристроїв, в яких використовуються матеріали з пам'яттю форми, має істотні відмінності від проектування деталей зі звичайних конструкційних матеріалів.

Через різноманітність сфер використання пристроїв із пам'яттю форми, рекомендується їх класифікувати на декілька категорій, що мають близький підхід до вибору матеріалу, його точного хімічного складу, технології одержання та обробки. У межах однієї групи можна застосовувати єдиний підхід до вироблення технічних вимог до матеріалу та комплексу його термомеханічних властивостей, а також реалізувати загальні для цієї групи пристроїв принципи проектування виробів, що забезпечують необхідні характеристики працездатності.

1.4.1 Трансформуючі конструкції

Трансформуючі конструкції, як правило, включають елементи з конструкційних матеріалів і матеріалів з пам'яттю форми (МПФ). Завдання елементів з МПФ при нагріванні вище за певну температуру змінити свою форму заданим чином і надати нове положення з'єднаним з ними елементам з конструкційного матеріалу. Прикладом таких конструкцій можуть бути системи розгортання антени та розкриття сонячних батарей на космічних апаратах.

У цьому випадку панелі сонячних батарей з'єднані між собою пластинами або дротяними елементами матеріалів з пам'яттю форми. У вихідному стані цим елементам надається форма, що відповідає повністю розкритій батареї. Потім елементи деформуються і блоки складаються в компактну транспортну форму.

У трансформуючих конструкціях елементи з МПФ в процесі відновлення форми як правило не зазнають значної протидії. Тому ці елементи можна віднести до групи конструкцій, що вільно відновлюються.

1.4.2 Термосилові виконавчі елементи

Вони використовуються в різних конструкціях, які при природній чи примусовій зміні температури виконують певну роботу відновлення форми. Такі силові елементи можуть як одноразово, так і багаторазово спрацьовувати. За температурами роботи матеріал термосилових елементів повинен відноситись до середньо або високотемпературним.

Прикладом можуть бути датчики термостатів, які в залежності від температури відкривають або закривають протоки з гарячим або холодним повітрям (водою, паливом тощо). Матеріал таких елементів повинен мати оборотний, двоколіїний ефект пам'яті форми. Однак величина такого ефекту навіть у найкращих з цієї точки зору матеріалах, як правило, не перевищує 1,5 %. Тому доцільніше використовувати елемент зміщення – тобто елемент з конструкційного матеріалу (титан, сталь, полімер та ін.), який у поєднанні з елементом з МПФ створює конструкцію, яка оборотно змінює свою форму при термоциклюванні через інтервал мартенситного перетворення.

1.4.3 Надпружні елементи

У цих елементах використовують здатність МПФ оборотно усувати при розвантаженні значні деформації. Величина таких деформацій набагато вище, ніж пружна деформація конструкційних матеріалів. Прикладом таких конструкцій, що набули широкого поширення, можуть бути оправки окулярів, які можна як завгодно згинати, і вони повертатимуться до вихідної форми, рибальські повідці для спінінгів, а також армуючі елементи бюстгальтерів, що забезпечують підтримку форми, не створюючи жорсткий каркас.

Перспективним можна вважати розробку різних надпружних інструментів, наприклад свердл, які можуть працювати у вигнутих каналах тощо. Головною вимогою до таких матеріалів є висока надпружна деформація, яка є максимальною

у сплавів на основі нікеліду титану з великим вмістом нікелю в деформованому стані.

1.4.4 Медичні імплантати та інструменти

Це найбільш популярна нині область застосування МПФ [31]. В першу чергу це відноситься до сплавів на основі нікеліду титану, які мають високу корозійну стійкість і біологічну інертність.

Дуже тривалий період часу були сумніви щодо можливості використання нікеліду титану в якості матеріалу імплантатів, тому що в ньому присутні більше 50 % нікелю, який є токсичним елементом і викликає алергію, як наприклад, при використанні нержавіючої сталі, що містить близько 8 % нікелю. Але численні дослідження показали, що нітінол біологічно інертний, і значного виходу іонів нікелю немає. Справа в тому, що нікелід титану є інтерметалідною сполукою, де атоми нікелю і титану міцно пов'язані між собою, і їх дифузійна рухливість сильно обмежена. У нержавіючих сталях нікель входить до складу твердого неупорядкованого розчину і досить легко переміщається в кристалічній решітці і виходить за межі імплантату. Крім того, імплантати з нікеліду титану самопасивуються щільною плівкою TiO_2 зі структурою анатазу, що перешкоджає корозії та дифузії через себе іонів нікелю.

1.5 Високоентропійні сплави

Високоентропійні сплави зазвичай містять п'ять або більше компонентних елементів у майже еквіатомному складі [32]. Щодо цього сплави з високою ентропією також називаються сплавами з кількома головними елементами. Концепція ВЕС побудована на ідеї, що висока ентропія змішування може сприяти утворенню стабільних однофазних мікроструктур, що не суперечить правилу фаз, заснованому на законах термодинаміки. Спостерігається безпрецедентний інтерес у всьому світі до розробки та дослідження ВЕС. Повідомлялося про успішну

експериментальну підготовку четвертинних високоентропійних сплавів зі складами $WNbMoTa$ [33] та $FeCoCrNi$ [34]. Деякі високоентропійні сплави, незважаючи на їх дуже складні елементні композиції, мають досить прості кристалічні структури. Ці сплави виявляються значною мірою щодо щільноупакованих та неупорядкованих кристалічних структур. Найбільш часто зустрічаються структури сплавів з високою ентропією, що утворюють об'ємноцентровані кубічні ґратки (ОЦК) [35] або гранецентровані кубічні решітки (ГЦК) [35]. Сплави з високою ентропією з структурою щільної гексагональної упаковки (ГЦУ) були передбачені теоретично, але ще не реалізовані експериментально.

На відміну від «класичних сплавів», що мають елемент основу та легуючі елементи, високоентропійні сплави містять значну кількість елементів (від 5 до 12 – 15), що вводяться в рівних або близьких до рівних частин. У невеликій кількості можуть додаватися металоїди [36]. Основну роль, що визначає специфіку будови та властивостей даних сплавів, грає конфігураційна ентропія.

Особливості хімічного складу та структури ВЕС призводять до так званих «основним» ефектам, визначальним унікальний комплекс властивостей цих матеріалів [37]: ефекту високої ентропії, ефекту сильних спотворень кристалічних ґрат, ефекту сповільненої дифузії. Перший ефект полягає в тому, що зменшення ентропії при переході в більш упорядкований стан переважає зменшення ентальпії за рахунок ефекту освіти упорядкованої фази. Ефект спотворень кристалічних ґрат пов'язаний з тим, що атоми різних розмірів доволно займають міжвузля в кристалічній решітці. Очевидно, більші атоми будуть розташовуватися на максимальній відстані друг від друга, тому що в цьому випадку спотворення кристалічної структури та енергія системи будуть зменшуватися. Ефект уповільненої дифузії пов'язаний із впливом спотворень кристалічних ґрат, а також з утворенням нанорозмірних включень та аморфних багатокомпонентних фаз за різних способів отримання ВЕС. Цей ефект має велике прикладне значення, оскільки від швидкості дифузії залежить, наприклад, корозійна стійкість.

1.6 Висновки до розділу 1

Проаналізувавши літературні дані можна стверджувати, що сплави, які зазнають ЕПФ, вже знайшли широкого промислового застосування. В останні роки спостерігається підвищений інтерес до високоентропійних сплавів, саме тому актуальним питанням є розробка сплавів з ЕПФ для промислової галузі.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Вибір сплавів та підготовка зразків для дослідження

Для проведення експериментальних досліджень було вибрано сплави систем Zr-Ta і TiZrHfNbTaNiCu. Початкові зразки плавлять у вакуумно-дуговій печі (рис. 2.1 а) за допомогою невитратного електрода на мідному водоохолоджуваному піддоні в атмосфері аргону під постійним надлишковим тиском 0,05 МПа.

У результаті плавки було отримано зразок, зображений на рисунку 2.1 б. Для забезпечення однорідності хімічного складу зразків, було виконано 7 переплавів. Маса злитків варіювалася від 30 до 60 грамів, з максимальною похибкою 0,01 %. У одній з лунок піддону заздалегідь розплавляли TiZr (в пропорції 50/50 за вагою).

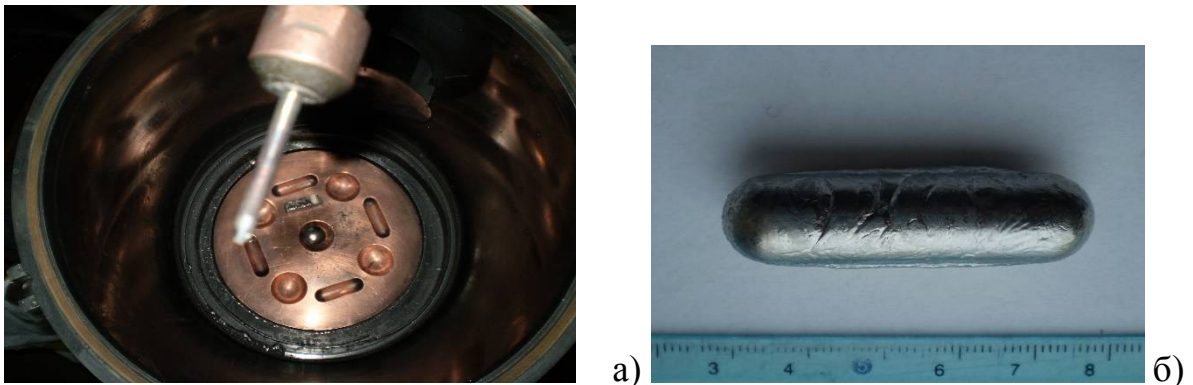


Рисунок 2.1 – Камера вакуумно-дугової печі (а) та типова відливка (б) отримана методом вакуумно-дугової плавки

Наступний крок включає вирізання пластинок з необхідними параметрами (товщина від 0,2 мм до 0,3 мм, ширина 1 мм, довжина від 15 мм) для подальших досліджень з метою виявлення ефекту пам'яті форми. Також проводиться вирізання зразків у формі дисків (ширина приблизно 8 мм, довжина приблизно 14 мм) для мікроструктурного аналізу.

2.2 Термічна обробка зразків

Обробка термічним методом зразка сплаву $Zr_{90}Ta_{10}$ включала гартування в печі з наступними параметрами:

- а) температура відпалу $T = 1100\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- б) час відпалу $\tau_1 = 1$ хв (для пластин товщиною 0,3 мм для випробувань методом трьохточкового прогину), $\tau_2 = 5$ хв (для зразків для рентгенофазового та мікроструктурного аналізу, товщина 10 мм);
- в) гартування в холодну воду ($T = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Інтегрований підхід до аналізу структури сплавів після обробки, включаючи різні методи термомеханічної та термічної обробки, забезпечує надійність та системність зібраних даних, застосовуючи методи рентгеноструктурного аналізу, оптичної та скануючої електронної мікроскопії.

2.3 Оптична мікроскопія

Для мікроструктурного аналізу зразки були підготовлені з мінімізацією подряпин на їхній поверхні. Поверхневий шар ZrO_2 видалявся за допомогою настільного токарного верстата. Шліфи проходили обробку на паперах різної дисперсності (80, 120, 180, 320, 800, 1000, 1200, 1500, 2000, 2500). Для отримання дзеркального ефекту застосовувалися методи полірування на фетровій тканині з пастою ГОІ та на сукні під струменем води.

Для вивчення мікроструктури зразки піддавалися травленню сумішшю кислот: 40 % HNO_3 та 10 % HF з додаванням 50 % H_2O , при цьому час травлення експериментально визначався і складав близько 20 секунд.

Аналіз мікроструктур проводився за допомогою інвертованого промислового мікроскопу для відбитого світла Carl Zeiss Axiovert 40 MAT німецького виробництва (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Інвертований промисловий мікроскоп DM IL (Leica Microsystems)

2.4 Рентгеноструктурний фазовий аналіз

Для рентгеноструктурного аналізу використовувалися дифрактометри виробництва марки Дрон 3 (Co – K_{α}) та Philips (Co – K_{α}). Фотографії зйомки проводилися в інтервалі кутів від 20 до 100 градусів (див. рис. 2.3).



Рисунок 2.3 – Дифрактометр ДРОН-3М

Основні параметри дифрактометра такі: рентгенівська трубка має потужність 2 кіловати, прискорююча напруга знаходиться в діапазоні від 20 до 50 кіловольт, струм трубки коливається від 5 до 40 міліампер, а діапазон кутів сканування становить від -100 до 167 градусів. Дифрактометр ДРОН-3М забезпечує можливість проведення різноманітних досліджень загального

характеру, таких як кількісний та якісний фазовий аналіз, вивчення розчинів, визначення макро- та мікронапружень та інших параметрів. Також можна отримати повний комплект інтегральних інтенсивностей відбиття від монокристалів, дослідити текстуру та інші характеристики. Для проведення рентгенофазового аналізу знімок рентгенівської дифракції був здійснений за участю мідного $K\alpha_1$ випромінення.

2.5 Скануюча електронна мікроскопія

Дослідження розподілу хімічних елементів проводили на скануючому електронному мікроскопі Tescan Mira 3 LMU.

SEM дозволяє створювати зображення поверхні зразка, скануючи його фокусованим пучком електронів. Взаємодія електронів з атомами зразка генерує сигнали, що містять інформацію про рельєф поверхні, склад і структуру об'єкта. Електронна гармата може бути термоемісійного типу з використанням вольфрамової нитки або автоемісійним джерелом, наприклад, джерелом польової емісії Шотткі. Залежно від типу детекторів, що використовуються для реєстрації сигналів, SEM може працювати у різних режимах, таких як відбиті електрони, вторинні електрони та інші.

Ключові переваги.

Використання SEM дозволяє досягти роздільної здатності від декількох нанометрів до субнанометрового діапазону, при цьому гранична роздільна здатність може сягати до 0,6 нм.

Скануючий електронний мікроскоп або SEM-аналіз дає зображення високої роздільної здатності, корисні для оцінки різноманітних матеріалів для поверхневих руйнувань, дефектів, забруднень або корозії. Завдяки SEM та EDX аналізу наші металургійні експерти надають комплексний огляд властивостей матеріалу та надають виробникам цінну інформацію.

SEM-аналіз є важливим інструментом дослідження, який використовує управлінуваний електронний промінь для отримання складних та високо

збільшених зображень поверхневої топографії зразка. Після ідентифікації цікавих областей на зразку та їхньої оцінки за допомогою SEM, наші спеціалісти можуть детальніше дослідити матеріал, використовуючи рентгенівську спектроскопію для аналізу енергетичного розсіяння або EDX.

Візуальний аналіз поверхні за допомогою скануючого електронного мікроскопа допомагає виявити забруднення або невідомі частинки, визначити причини несправностей та вивчити взаємодію між матеріалами.

2.6 ДюрOMETричний аналіз

Твердість визначилася за методом Віккерса [12 – 14]. Первинними даними, які використовувалися для аналізу поведінки характеристики індентування, було навантаження R і глибина занурення h , взяті з автоматично записаних діаграм навантаження-розвантаження зразків. За цими діаграмами визначали значення глибини занурення індентора. Твердість визначали розподілом прикладеного навантаження на проекцію площі відбитка індентора, виражену через діагональ відбитка d за формулою (2.1), розрахунок діагоналі відбитка проводився за формулою (2.2).

$$HV = \frac{1,854P}{d^2} \quad (2.1)$$

$$h = 0,14d, \quad (2.2)$$

де HV – твердість за Віккерсом;

P – навантаження,

d – діагональ відбитку,

h – глибина занурення.

Розрахунок міри пластичності δ_H за наслідками експерименту проводився за формулою, запропонованою Ю.В. Мільманом [5]:

$$\delta_H = 1 - 14,3(1 - \nu_1 - 2\nu_1^2) \frac{HV}{E_1} \quad (2.3)$$

де HV – твердість за Віккерсом;

ν_1 – коефіцієнт Пуассона;

E_1 – модуль Юнга.

2.7 Висновки до розділу 2

1. Предметом дослідження виступає сплав системи $TiZrHfNbTaNiCu$ отримані методом вакуумно-дугового переплаву.

2. Обрані методи дослідження (дослідження термодинамічних властивостей зразків, рентгеноструктурний аналіз, дюрOMETричний аналіз, оптична та скануюча електронна мікроскопія) є ефективними для поставлених в даній роботі завдань.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Дослідження мікроструктури сплаву $Zr_{90}Ta_{10}$

Для дослідження мікроструктури сплаву $Zr_{90}Ta_{10}$ зразок було піддано гартуванню у воду від $T = 1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ та задля проявлення рисунку мікроструктури подальшому протравленню у розчині кислот. На рисунку 3.1 представлено мікроструктури даного сплаву. Аналізуючи отриману картину ми можемо бачити характерний рельєф для мартенситної фази, а саме – голки мартенситу. Отже, сплав даного складу є перспективним для подальших досліджень на наявність функціональних властивостей.

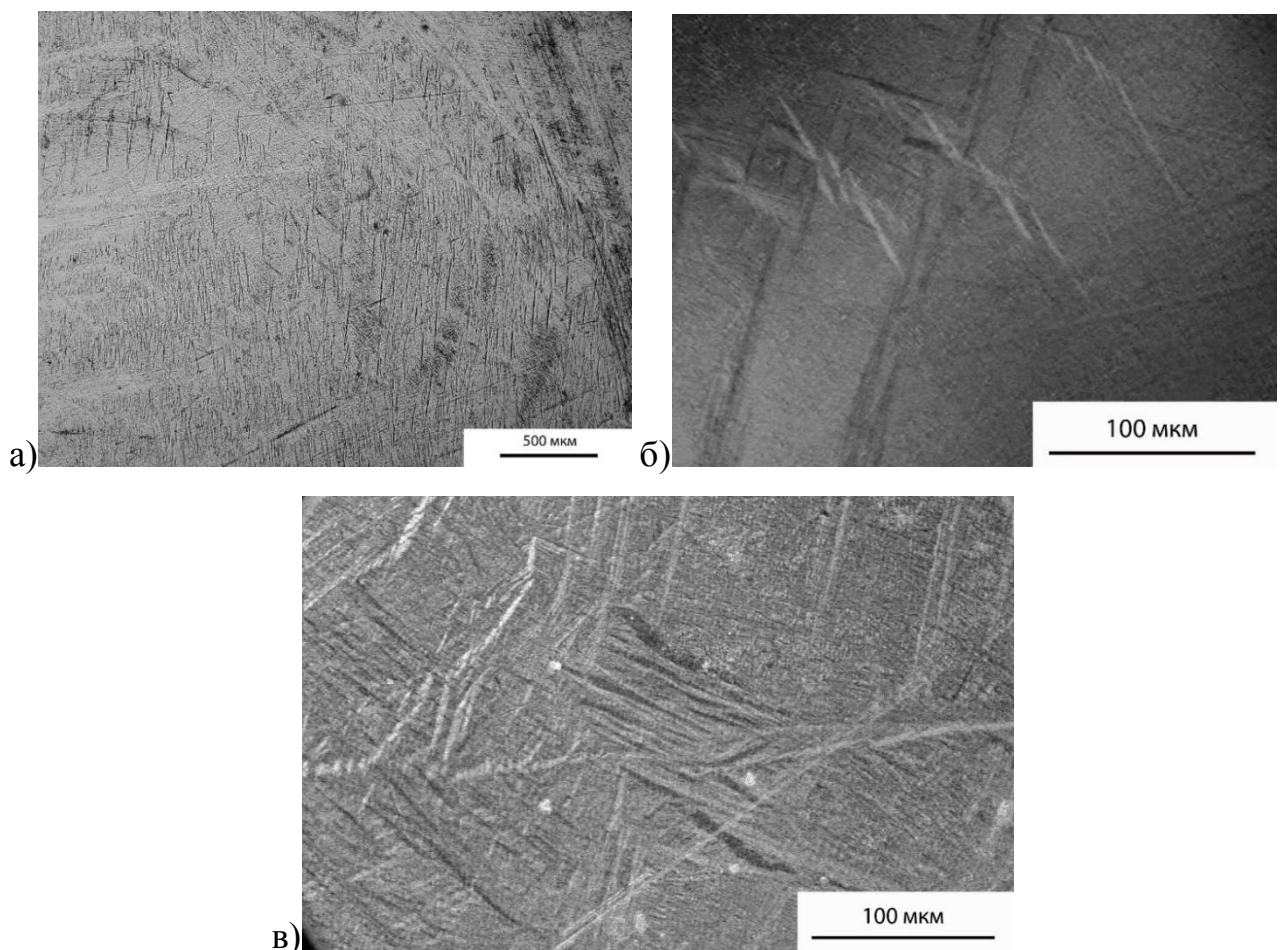


Рисунок 3.1 – Мікроструктури загартованого сплаву $Zr_{90}Ta_{10}$

3.2 Дослідження мікроструктури сплаву TiZrHfNbTaNiCu

В процесі кристалізації виплавленого сплаву відбуваються певні структури, яке в подальшому впливає на фізичні властивості, в тому числі на параметри мартенситного перетворення. Для дослідження структури сплаву TiZrHfNbTaNiCu розрізали зразок перпендикулярно до зони кристалізації, тому ми на одному і тому самому зразку могли побачити кристалізацію як на поверхні відливки, так і всередині. Зразок досліджували в литому стані. При приготуванні зразка була відмічена особливість – матеріал є крихким. В процесі полірування спостерігалася поява значних подряпин дзеркалу шліфа, а також виривання дрібних часток металу. Метал, що викришувався та який міг нанести такі подряпини, на нашу думку, відрізняється за хімічним складом та, скоріш за все, твердіший ніж матриця сплаву. Також на дзеркалі шліфа виділяється окрема частка розміром 1 мкм в ширину та 1,8 мкм в довжину.

На нашу думку це може бути або не проплавлена частка ніобію чи танталу, температура плавлення чистих компонентів яких лежить в межах ~ 2000 °C, або ж це нерозплавлений шмат вже готового сплаву, який випадково потрапив в зорну рідкого металу та пов'язаний безпосередньо з процесом виплавки ВЕС. Щоб встановити, що ж представляє собою дане вкраплення, потрібні додаткові дослідження. За допомогою рентгеноструктурного аналізу ми можемо виявити присутність чи відсутність рефлексів чистого металу. За допомогою скануючого мікроскопу ми можемо подивитися розподіл елементів в перерізі даного включення.

При більш детальному огляді матеріалу на дзеркалі шліфа нами було виявлено дендритну структуру. Дендрити мають розгалужену структуру та осі першого та другого порядку, ростуть хаотично, поки не утворять повний кристал. Це пов'язано з явищем нестабільності міжфазних границь. Напрямок фронту кристалізації можна спостерігати через дендрити. Відомо, що дендрити також викликають перерозподіл елементів і їх зростання залежить від переохолодження.

3.3 Дослідження залежності теплового потоку від температури в сплаві $(\text{TiZrHfNbTa})_{50}(\text{NiCu})_{50}$

Для дослідження залежності теплового потоку від температури в сплаві на основі системи $(\text{TiZrHfNbTa})_{50}(\text{NiCu})_{50}$ було запропоновано наступні режими:

1) нагрівання до $T_{пл}$, швидкість $5\text{ }^\circ\text{C}/\text{хв}$, витримка при цій температурі відсутня, охолодження зі швидкістю $5\text{ }^\circ\text{C}/\text{хв}$ до кімнатної температури;

2) нагрівання до $T = 600\text{ }^\circ\text{C}$, швидкість $5\text{ }^\circ\text{C}/\text{хв}$, витримка при цій температурі відсутня, охолодження зі швидкістю $5\text{ }^\circ\text{C}/\text{хв}$ до кімнатної температури. Нагрів до кімнатної температури $5\text{ }^\circ\text{C}/\text{хв}$.

В якості матеріалу тигля було обрано ZrO_2 . Нагрів зразка проводили в атмосфері гелію.

Досліджений зразок сплаву на основі системи TiZrHfNbTaNiCu нагрівають, і кількість тепла, що виділяється або поглинається зразком сплаву у відповідних діапазонах температур, записується за допомогою кривої залежності теплота/температура (рис. 3.2). По осі абсцис показана температура в $^\circ\text{C}$, а по ординаті — кількість теплоти в мВт/мг. Наявність піку підйому на кривих являє собою кількість тепла, що виділяється сплавами, а коли пік має протилежний напрямок (тобто йде вниз) то, це означає, що кількість тепла поглинається.

За допомогою цього дослідження можна побачити, що температура стабілізується лише вище певного значення, тому твердження про вимірювання можна зробити лише з приблизно $200\text{ }^\circ\text{C}$. Калориметрична крива сплаву спочатку проходять лінійно без великого нахилу до $250\text{ }^\circ\text{C}$, а потім повільно знижуються.

Синя крива, що представляє процес охолодження, має відносно низький, але постійний спад до $900\text{ }^\circ\text{C}$. З цього моменту вона знову починає підвищуватися до температури незадовго до $1200\text{ }^\circ\text{C}$, а потім знову падає.

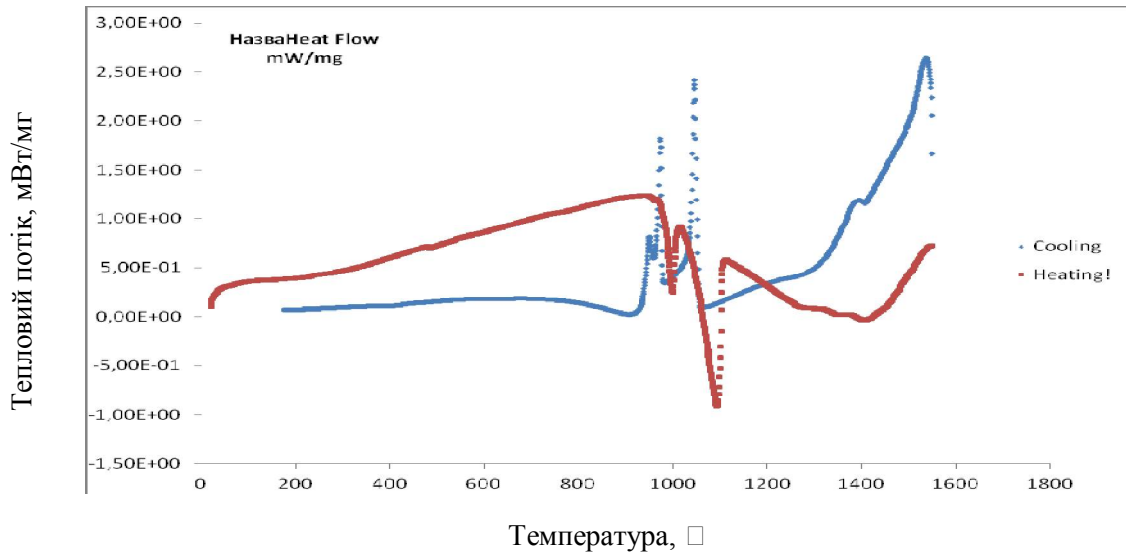


Рисунок 3.2 – Залежності теплового потоку від температури в сплаві TiZrHfNbTaNiCu

На кривих залежності теплового потоку від температури (рис. 3.3 та 3.4) не виявлено перегину/відхилення кривої, тим самим не підтверджено наявності МП. Оскільки за даними рентгену є чіткі рефлекси В2 фази, ми вважаємо що МП в цьому сплаві відбувається нижче кімнатної температури. Точні дані кожного діапазону позначено на рисунках та наведено в окремих таблицях 3.1 та 3.2.

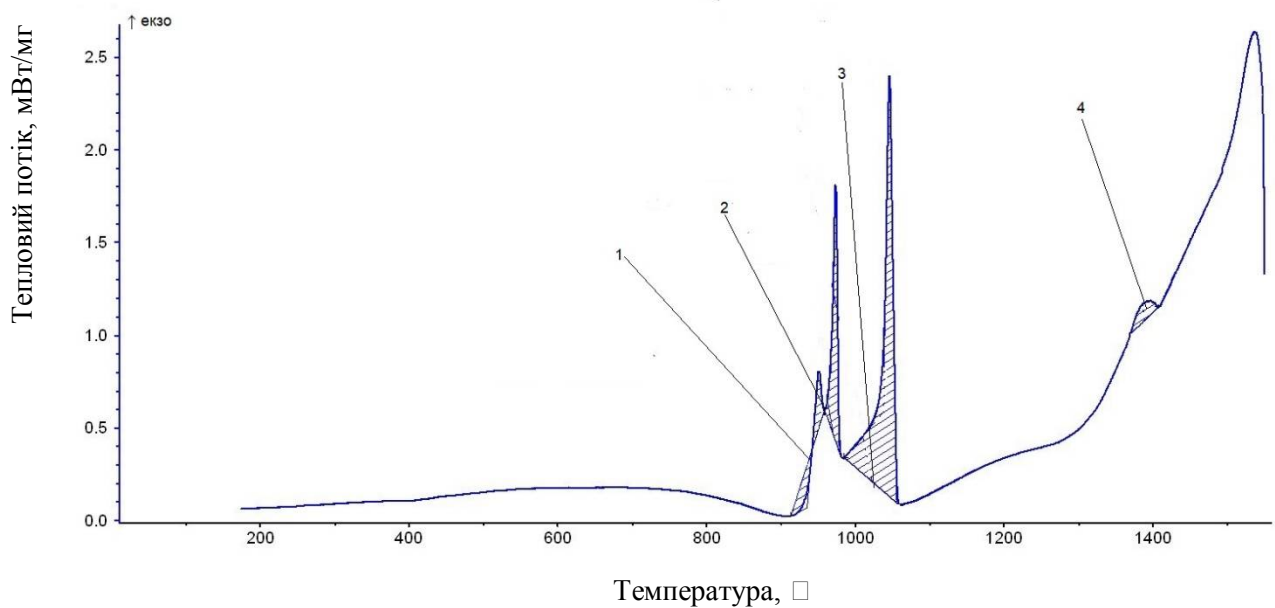


Рисунок 3.3 – Комплексні дані кожного піку при охолодженні, їх початок та кінець

Таблиця 3.1 – Отримані дані кожного піку при охолодженні

Позначення	Площа, Дж/г	Пік, °	Початок, °	Кінець, °	Ширина, °	Висота, мВт/мг
1	0,209	950,8	935,2	955,6	10,5	0,3207
2	16,11	972,9	967,6	977,3	8,4	1,386
3	55,47	1045,7	1037,5	1054,9	13,6	2,283
4	3,784	1395,3	1371,4	1405,6	30	0,1008

На рисунку 3.4 показано дані при нагріванні для кожного піку, а саме їх початок та кінець.

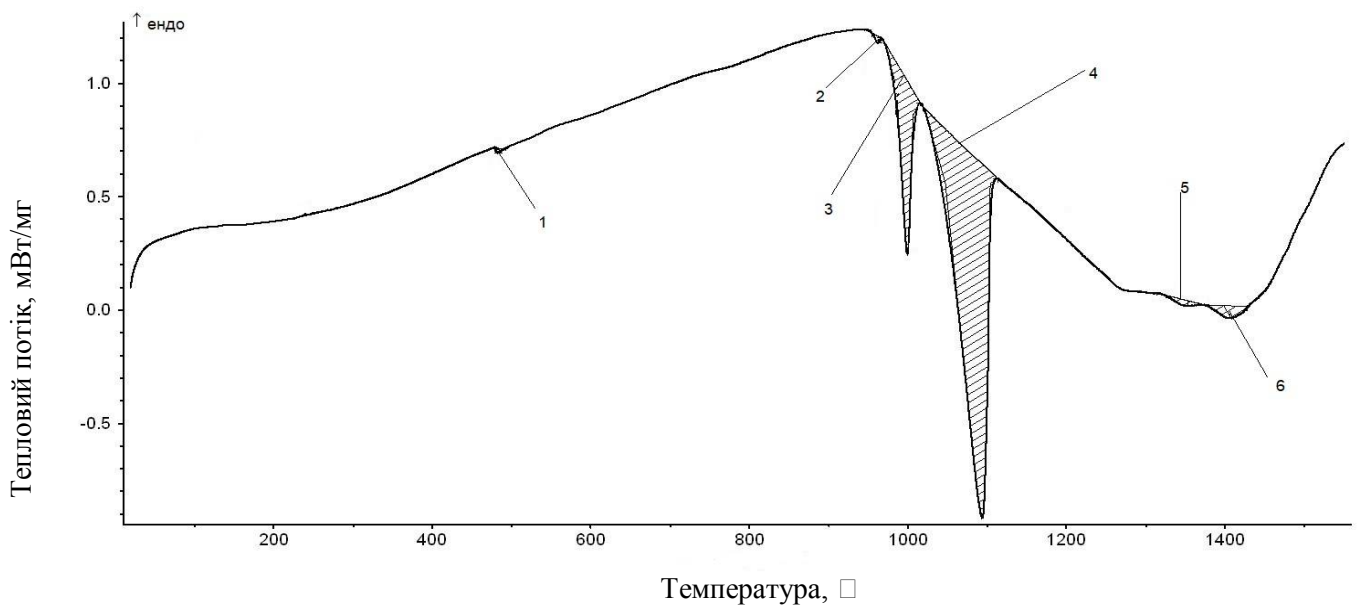


Рисунок 3.4 – Комплексні дані кожного піку, їх початок та кінець

Таблиця 3.2 – Отримані дані кожного піку при нагріванні

Позначення	Площа, Дж/г	Пік, °	Початок, °	Кінець, °	Ширина, °	Висота, мВт/мг
1	-0,2093	483,7	480	490	8,5	0,01926
2	-0,2393	962,3	953,4	965,4	7,3	0,0306

Продовження таблиці 3.2

Позначення	Площа, Дж/г	Пік, □	Початок, □	Кінець, □	Ширина, □	Висота, мВт/мг
3	-18,2	999	985,5	1006,2	17,1	0,7669
4	-91,77	1093,6	1046,7	1104	45,3	1,563
5	-0,9689	1353,5	1324,5	1359	32,2	0,02468

3.4 Фізико-механічні властивості сплаву TiZrHfNbTaNiCu

Для прогнозування можливих областей застосування нових функціональних матеріалів необхідно мати інформацію не тільки про особливості перебігу в них фазових перетворень, але також і володіти знаннями про механічні властивості цих матеріалів. Наприклад, твердість характеризує властивості матеріалу чинити опір проникненню в нього іншого, більш твердого тіла – індентору, а пластичність – здатність матеріалу без руйнування отримання більших залишкових деформацій. Така інформація важлива і для визначення режимів термомеханічної обробки, питання про які встає перед конкретним застосуванням матеріалу.

Для визначення пластичності Ю. В. Мільман та інші в роботах [18 – 22] показали можливість досить простого підходу, оскільки, тим не менше, цілком достатньої для точності практики. Метод полягає в наступному. Аналіз кривих навантажень при ідентифікації дозволяє розділити вклад пружної та пластичної складової відбитків при безперервному вдавлюванні. Повна робота деформації визначається як площа під усією кривою, робота пластичної деформації з одного боку обмежена кривою навантаження, а з іншої – кривою розвантаження. Маючи експериментальні криві ідентифікації легко визначити відношення між цими площами, яке, відповідно до роботи Мільмана, є мірою пластичності.

Іншим можливим варіантом розрахунку параметрів пластичності за результатами експерименту на безперервне вдавлювання є використання

формули, що підтримує твердість та пружні характеристики матеріалу з мірою пластичності [5]. Вивчаючи відому схильність і чутливість ВЕС до хімічної неоднорідності, ціллю цієї роботи стала оцінка залежності твердості і пластичності сплаву TiZrHfNbTaNiCu в литому стані що дозволить врахувати роботу різних вузлів виробів на практиці.

Мікроіндентування виконували на «Мікрон-Трібо» при кімнатній температурі тригранним алмазним індентором з кутком заточки між висотою і гранню піраміди $\alpha = 136^\circ$. Навантаження і розвантаження здійснювалися автоматично зі швидкістю 0,01 мкм/с протягом 10 с. Глибину занурення визначили за величиною відхилення положення зовнішнього індентора по відношенню до «нульової позначки». Точність визначення навантаження P складу 10^{-3} Н, глибина занурення h індентора $\pm 2,5$ нм.

Проведені дослідження твердості та визначені характеристики пластичності литого сплаву TiZrHfNbTaNiCu методом ідентування з неперервним вдавлюванням (рис. 3.5) в залежності від зони кристалізації металу виявили наступну закономірність: зміна твердості по Віккерсу по зливку не є рівномірною.

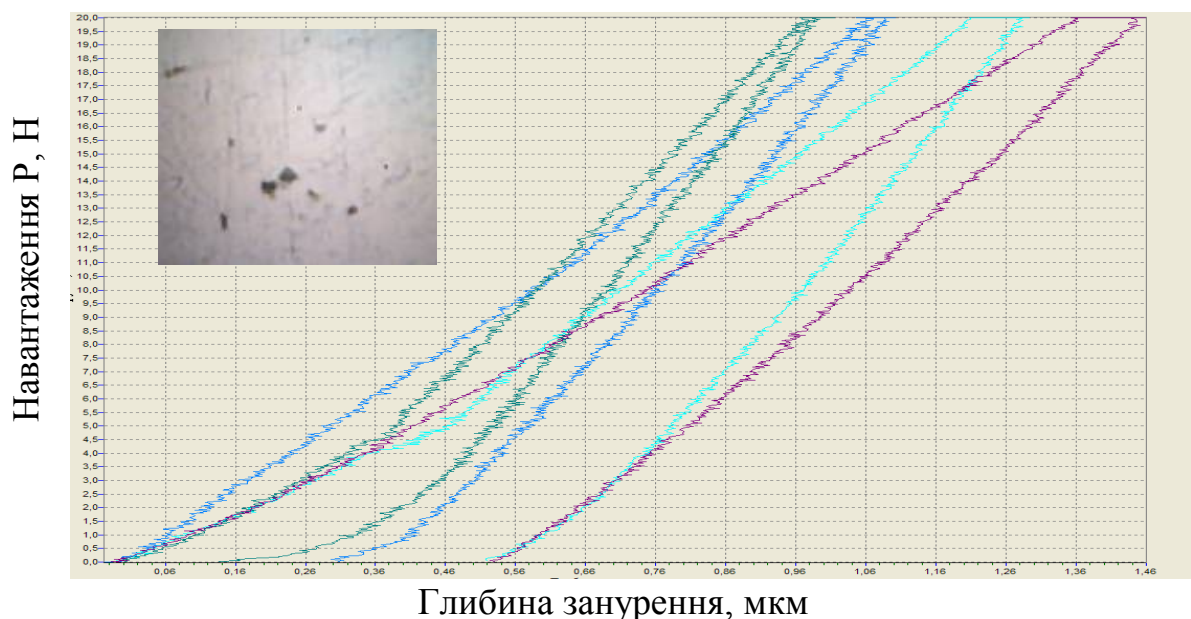


Рисунок 3.5 – Криві неперервного вдавлювання та розвантаження

Тобто існують зони де твердість сягає від 4,41 Н до 9,33 Н (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Залежність мікротвердості від прикладеного навантаження в литому зразку сплаву TiZrHfNbTaNiCu

№ виміру	Навантаження Р, Н	Глибина h, мкм	Діаметр відбитка d, мкм	Твердість, H_v (Мартел) ГПа	Твердість H_n (Меєр), ГПа	Твердість H (Меєр), ГПа
1	2	1,106	13,2	9,331	6,675	15,383
2	2	1,297	13,7	6,427	4,851	11,199
3	2	1,430	14,6	4,410	3,993	8,159
4	2	1,463	15,1	5,386	3,816	11,141

3.5 Результати рентгенофазового аналізу

Для визначення фазового складу був використаний рентгенофазовий аналіз з позначенням кожного із рефлексів (див. рис. 3.6).

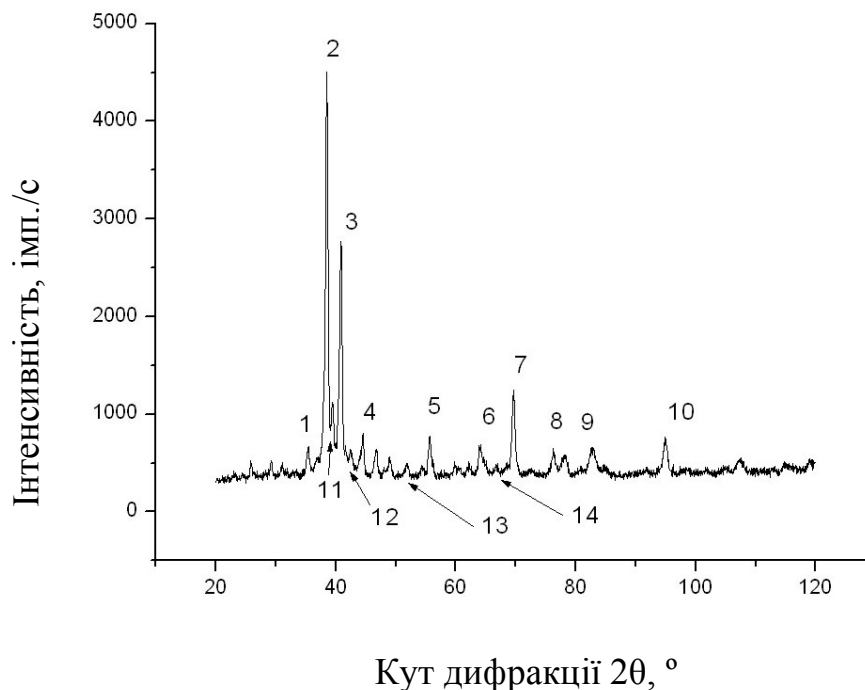


Рисунок 3.6 – Дифрактограма від сплаву TiZrHfNbTaNiCu

Розрахунок фазового складу наведено в таблиці 3.4

Таблиця 3.4 – фазовий склад сплаву дослідженого методом рентгеноструктурного аналізу

Номер	Індекси hkl	Фаза
1	012	Ta ₂ Nb
2	122	Ta ₂ Nb
3	110	B2(CsCl)TiZrHfNbTaCuNi
4	013	Ta ₂ Nb
5	113	Ta ₂ Nb
6	024	Ta ₂ Nb
7	211	B2 (CsCl)TiZrHfNbTaCuNi
10	310	B2 (CsCl)TiZrHfNbTaCuNi
11	122	Ti ₃ Ni ₄
12	242	Ti ₃ Ni ₄
13	360	Ti ₃ Ni ₄
14	532	Ti ₃ Ni ₄

3.6 Структурні властивості сплаву системи TiZrHfNbTaNiCu

Під час досліджень сплаву TiZrHfNbTaNiCu за допомогою скануючого електронного мікроскопу, для запобігання утворення електронної хмари під час дослідів, зразок кріпили на підкладці за допомогою провідного клею. Але такого утворення хмари не завжди можна було уникнути, а отже висока роздільна здатність була порушена, що ускладнило аналіз складу і структур зразків. В результаті проведених досліджень було виявлено, що зразок має дендритну структуру, що можна побачити на зображеннях SEM (рис. 3.7). Також, аналіз структури виявив три фази, які відрізняються не тільки за кольором, а й відрізняються за хімічним складом.

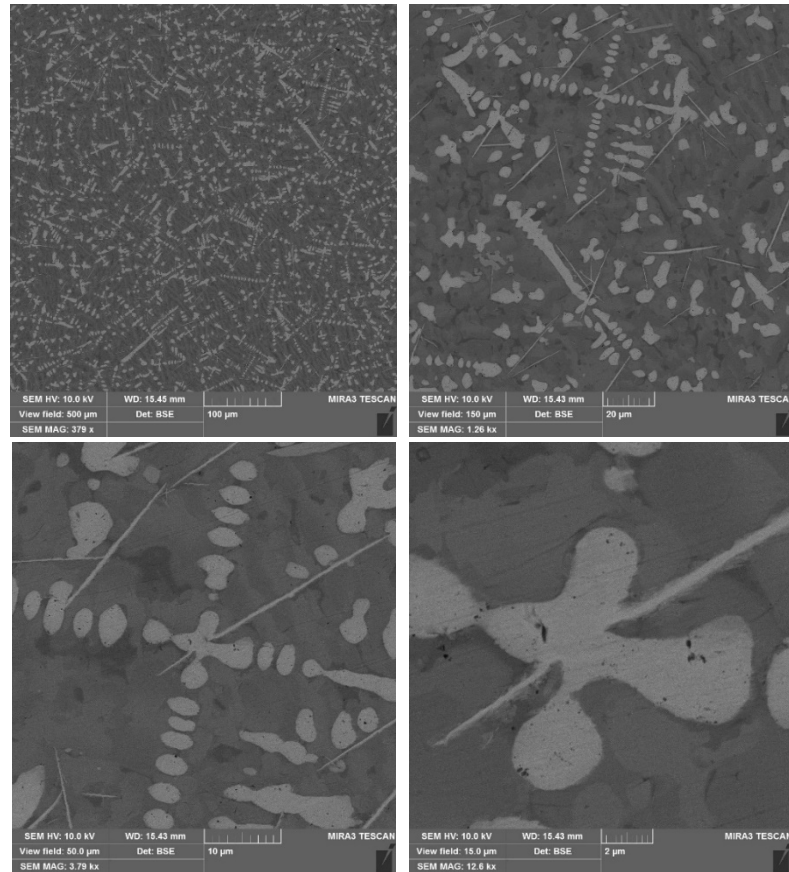


Рисунок 3.7 – Зображення SEM зразка сплаву TiZrHfNbTaNiCu при різних збільшеннях

Дослідження різних за контрастом ділянок (рис 3.8) дає можливість припустити, що сплав має три фази та дендритні включення. Крім того, аналіз EDX показав, що склади елементів сплаву відрізняються від їх теоретичних значень (табл. 3.4).

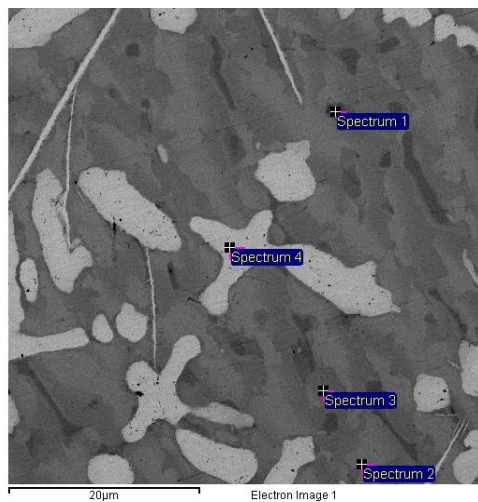


Рисунок 3.8 – Спектри розподілу хімічних елементів на вибраних ділянках

Таблиця 3.4 – Хімічний розподіл елементів сплаву системи TiZrHfNbTaNiCu

Спектр	Ti	Ni	Cu	Zr	Nb	Hf	Ta
1	9,85	19,07	49,18	13,14	1,34	6,38	1,03
2	6,96	32,06	26,63	13,90	2,74	15,01	2,71
3	11,02	32,77	25,59	14,48	2,57	11,33	2,24
4	4,00				43,03		52,97
Макс.	11,02	32,77	49,18	14,48	43,03	15,01	52,97
Мін.	4,00	19,07	25,59	13,14	1,34	6,38	1,03

3.7 Висновки до розділу 3

1. Методом залежності теплового потоку від температури не виявлено перегину/відхилення кривої, тим самим не підтверджено наявність МП в литому сплаві TiZrHfNbTaNiCu.

2. Проведено дослідження твердості та визначені характеристики пластичності литого сплаву TiZrHfNbTaNiCu методом ідентування з непереривним вдавлюванням.

3. В залежності від зони кристалізації металу виявлено, що зміна твердості за Віккерсом по зливку не є рівномірною внаслідок існування зони де твердість сягає від 4,41 Н до 9,33 Н.

4. Отримано дані рентгеноструктурного фазового аналізу від литих ВЕС системи TiZrHfCoNiCu, де виявлено суміш 3 фаз.

5. Аналіз структури виявив три фази, які відрізняються не тільки за кольором, а й за хімічним складом. Показано, що вміст елементів сплаву відрізняється від їх теоретичних значень. Виявлено, що зразок має дендритну структуру $Ti_4Nb_{43}Ta_{53}$.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Науково-технічна актуальність НДР

На сьогоднішній день актуальною задачею сучасного промислового матеріалознавства є розробка матеріалів, що володіли б високим ступенем інертності. Матеріали з наперед заданими властивостями, такими як надпружність, надпластичність та ефект пам'яті форми, знаходять все ширше застосування в області промисловості.

У процесі розробки матеріалів необхідно враховувати сумісність кожного з компонентів сплаву. Найбільш широко використовуваним на даний час сплавом є Ti-Ni, проте, як ми визначили, його промислових властивостей недостатньо, з урахуванням наявних покращених сплавів, таких як TiZrHfNiCu.

У інституті металофізики НАН України ім. Г.В. Курдюмова вже були проведені дослідження, що виявили наявність ефекту пам'яті форми у сплавах системи Zr-Nb та Ti-Nb, а також була доведена доцільність їх використання у промисловості. Метою даної дипломної роботи стало дослідження перспективної системи TiZrHfNbTaNiCu на наявність ефекту пам'яті форми та встановлення характеристичних температур мартенситного перетворення. Дослідження були спрямовані на створення нових сплавів з високими функціональними можливостями.

Для матеріалів промислового призначення пред'являються ряд наступних вимог:

- а) інертність компонентів матеріалу;
- б) можливість проведення обробки готового виробу без зміни параметрів мартенситного перетворення;
- в) стійкість матеріалів до корозії та зношування для виготовлення промислового обладнання та інструментів;
- г) прийнятна механічна оброблюваність (з метою отримання напівфабрикатів необхідних параметрів).

4.2 Мета і завдання НДР

Метою даної дослідницької роботи є дослідження системи TiZrHfNbTaNiCu на наявність ефекту пам'яті форми та встановлення характеристичних точок мартенситного перетворення. Важливим завданням є розробка нових вітчизняних матеріалів, що могли б стати конкурентоспроможними на світовому ринку. Отже, актуальним питанням є пошук, дослідження та виробництво високоякісних продуктів.

Для досягнення даних цілей належить розв'язати наступні задачі:

- а) ознайомитись із сучасними дослідницькими напрямками роботи, що проводяться у даній сфері;
- б) розробити актуальну методику проведення досліджень;
- в) обґрунтувати вибір того чи іншого співвідношення компонентів сплаву;
- г) дослідити вплив технологічних прийомів та термічної обробки на фазовий склад та фізико-механічні властивості сплавів;
- г) розробити технологію виготовлення напівфабрикатів із сплавів системи TiZrHfNbTaNiCu;
- д) узагальнити отримані результати.

4.3 Розрахунок планових витрат на проведення НДР

Науково-дослідницька робота проводилась у відділі фазових перетворень Інституту металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України. Кошторисна вартість НДР є важливим показником роботи для науково-дослідницької установи або її підрозділу. Планова кошторисна вартість НДР визначається у відповідності з наступними калькуляційними статтями видатків:

- а) витрати на оплату праці;
- б) визначення розміру єдиного соціального внеску;
- в) матеріали необхідні для проведення досліджень;
- г) витрати на спеціальне обладнання;

- д) вартість послуг сторонніх організацій;
- е) визначення витрат на виробничі відрядження;
- є) інші прямі невраховані витрати по темі;
- ж) накладні витрати;
- з) визначення планової кошторисної вартості теми.

4.3.1 Витрати на оплату праці

Розрахунок заробітної плати науково-технічного персоналу базується на визначенні трудомісткості робіт окремих виконавців та їхньої денної заробітної плати (враховуючи кількість виконавців, їхню кваліфікацію і завантаженість роботою на різних етапах НДР).

У виконанні нашої НДР приймали участь три виконавці: старший науковий співробітник, інженер I категорії та технік. Для Інституту металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України тарифні ставки сумарної місячної заробітної плати складають:

- а) старшого наукового співробітника – 11630 грн;
- б) інженера I категорії – 11054 грн;
- в) технік I категорії – 9446 грн

Денна заробітна плата кожного з виконавців визначається як місячна заробітна плата, поділена на середню кількість днів у місяці, що при п'ятиденному робочому тижні становить 21,2. Таким чином, величина денної заробітної плати виконавців складає:

- а) старший науковий співробітник – 548,58 грн;
- б) для інженера I категорії – 521,41 грн;
- в) для технік I категорії – 445,56 грн.

У випадку відсутності відповідних розрахункових методик трудомісткість різних етапів виконання НДР встановлюється на базі експертних оцінок, які дають провідні фахівці. При цьому НДР розглядається як сукупність макроетапів, аналіз

кожної окремої операції не проводиться. Результати експертної оцінки трудомісткості етапів НДР наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Трудомісткість етапів виконання НДР

Етапи НДР	Старший науковий співробітник	Інженер-дослідник	Технік
Підготовчий етап	15	15	-
Проведення експерименту	30	40	40
Написання записки	–	15	-
Оформлення, перевірка та захист	15	20	-
РАЗОМ	60	60	40

Величина основної заробітної плати виконавців (ОЗП) обчислюється як сума добутків трудомісткості і денної заробітної плати кожного з них:

$$\text{ФЗП} = 60 \cdot 548,58 + 60 \cdot 521,41 + 40 \cdot 445,56 = 82021,8 \text{ грн}$$

4.3.2 Визначення розміру єдиного соціального внеску

Згідно з діючим законодавством відрахування на соціальні заходи складають 22 % від заробітної плати.

$$V_C = 0,22 \cdot 82021,8 = 18044,8 \text{ грн}$$

4.3.3 Матеріали необхідні для проведення досліджень

Визначення витрат на матеріали, які необхідні для проведення експерименту, проводяться виходячи із вартості та необхідної кількості матеріалів. Дані про основні матеріали, які необхідні для проведення експерименту наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Розрахунок вартості основних матеріалів

Найменування матеріалів	Одиниця вимірювання	Кількість	Ціна, грн/кг	Сума, грн.
Титан високої чистоти (99,99 %)	г	10	850	8,5
Цирконій високої чистоти (99,99 %)	г	10	3500	35
Гафній високої чистоти (99,99 %)	г	10	32 572,67	325,72
Ніобій високої чистоти (99,99 %)	г	10	6 107,38	61,07
Тантал високої чистоти (99,99 %)	г	10	20 357,92	203,58
Нікель високої чистоти (99,99 %)	г	25	999	24,975
Мідь високої чистоти (99,99 %)	г	25	680	17
В цілому				675,85

Транспортні витрати приймаються в розмірі 10 % від ринкової вартості:

$$675,85 \cdot 0,1 = 67,6 \text{ грн}$$

Повна сума витрат на матеріали становить:

$$C_m = 675,85 + 67,6 = 743,45 \text{ грн}$$

4.3.4 Витрати на спеціальне обладнання

При виконанні НДР усі роботи проводилися з використанням лише наявного обладнання в лабораторіях інституту металофізики НАНУ ім. Г.В.Курдюмова .

4.3.5 Вартість послуг сторонніх організацій

У виконанні даної НДР сторонні організації участі не приймали.

4.3.6 Визначення витрат на виробничі відрядження

Усі роботи, пов'язані з виконанням НДР за даною темою, проведені у відділі фазових перетворень Інституту металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України. Окремі службові відрядження не проводились.

4.3.7 Інші прямі невраховані витрати по темі

Інші прямі невраховані витрати плануються у розмірі 10 % від врахованих:

$$C_{\text{інш}} = 0,1 \cdot (\text{ФЗП} + V_C + C_M), \quad (4.1)$$

де ФЗП = 82021,8 грн – фонд заробітної плати;

V_C = 18044,8 грн – відрахування на соціальні заходи;

C_M = 743,45 грн – витрати на матеріали.

$$C_{\text{інш}} = 0,1 \cdot (82021,8 + 18044,8 + 743,45) = 10081 \text{ грн}$$

4.3.8 Накладні витрати

До накладних витрат відносяться витрати на заробітну плату адміністративно-управлінського, господарчого та допоміжного персоналу (разом з єдиним соціальним внеском), витрати на допоміжні виробництва, витрати на охорону праці, техніку безпеки та екологію, фінансування підготовки кадрів, витрати на воєнну охорону і деякі інші.

Норматив відрахувань на накладні витрати для у Інституті металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України встановлений в розмірі 16 % планової сумарної вартості виконання НДР. Розраховуємо величину накладних витрат наступним чином:

$$H_B = 0,16 \cdot (\PhiЗП + B_C + C_M + C_{\text{інш}}), \quad (4.2)$$

де $\PhiЗП = 82021,8$ грн;

$B_C = 18044,8$ грн;

$C_M = 743,45$ грн;

$C_{\text{інш}} = 10081$ грн.

$$H_B = 0,16 \cdot (82021,8 + 18044,8 + 743,45 + 10081) = 17742,57 \text{ грн.}$$

4.3.9 Визначення планової кошторисної вартості теми

Планова кошторисна вартість НДР визначається як сума витрат за окремими статтями вартості. Результати визначення вартості наведені у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Калькуляція планової кошторисної вартості НДР

Найменування калькуляційних статей	Позначення	Сума	
		грн	%
1.Заробітна плата виконавців	$\PhiЗП$	82021,8	63,77
2. Єдиний соціальний внесок	B_C	18044,8	14,02
3.Матеріали, придбані вироби, напівфабрикати	C_M	743,45	0,58
4.Спеціальне обладнання	$C_{\text{об}}$	—	
5.Робота і послуги сторонніх організацій	$C_{\text{стор}}$	—	
6.Витрати на наукові та виробничі відрядження	$C_{\text{від}}$	—	
7.Інші прямі видатки	$C_{\text{інш}}$	10081	7,84

Продовження таблиці 4.3

Найменування калькуляційних статей	Позначення	Сума	
		грн	%
8. Накладні витрати	Н _В	17742,57	13,79
Всього по темі		128633,62	100

Згідно з таблицею 4.3 загальна планова кошторисна вартість НДР складає:

$$V_{\text{НДР}} = 128633,62 \text{ грн.}$$

4.4 Науково-технічна ефективність НДР

Проведені у даній роботі дослідження мають пошуковий характер. Впливаючи з цього, розрахунок очікуваного річного економічного ефекту є надзвичайно складним, оскільки відсутні дані щодо сфер використання результатів роботи, а також вихідні дані для розрахунку єдиновременних та поточних витрат. У такому випадку слід використовувати бальну систему оцінки економічної ефективності за наступними показниками:

- а) важливість розробки;
- б) можливість використання результатів;
- в) теоретичне значення та рівень новизни дослідження;
- г) складність отриманої розробки.

Частку сумарного річного економічного ефекту, що утвориться за кожною з перелічених шкал, позначають умовно відповідним номеру шкали коефіцієнтом (K_1, K_2, K_3, K_4). Нижче наведена система оцінки за кожною шкалою. Першою розглянемо шкалу важливості розробки.

Коефіцієнт K_1 може приймати наступні значення:

- а) ініціативна робота, яка не входить до складу комплексної програми та не є завданням директивних органів – 1 бал;

б) робота виконується за угодою про науково-технічне співробітництво – 3 бали;

в) робота являє собою частину відомчої програми – 5 балів;

г) робота являє собою частину комплексної міжвідомчої програми з елементами впровадження результатів – 7 балів;

д) робота є частиною міжнародної комплексної програми – 8 балів.

Коефіцієнт K_2 може приймати такі значення:

а) результати розробки можна використати тільки в даному підрозділі – 1 бал;

б) результати розробки можуть бути використані тільки однією організацією – 3 бали;

в) результати розробки можуть бути використані багатьма організаціями – 5 балів;

г) результатами розробки можуть користуватися споживачі в межах однієї галузі – 8 балів;

д) результатами розробки можуть користуватися споживачі в різних галузях – 10 балів.

Коефіцієнт K_3 може приймати такі значення:

а) робота являє собою аналіз, узагальнення або класифікацію відомої інформації, подібні результати раніше були відомі в досліджуваній галузі – 2 бали;

б) під час виконання роботи отримана нова інформація, яка доповнює уявлення про сутність досліджуваних процесів – 3 бали;

в) внаслідок виконання роботи отримана нова інформація, яка частково змінює уявлення про природу досліджуваних процесів – 5 балів;

г) внаслідок виконання НДР створені нові теорії, методики або що-небудь подібне – 6 балів;

д) отримана інформація формує принципово нові уявлення, які не були відомі раніше – 8 балів.

Коефіцієнт K_4 може приймати такі значення:

- а) роботу виконує один підрозділ, витрати до 10 000 гривень – 1 бал;
- б) роботу виконує один підрозділ, витрати від 10 000 до 50 000 гривень – 3 бали;
- в) роботу виконує один підрозділ, витрати від 50 000 до 100 000 гривень – 5 балів;
- г) робота виконується багатьма підрозділами, витрати від 100 000 до 200 000 гривень – 7 балів;
- д) робота виконується багатьма організаціями, витрати більше 200 000 гривень – 9 балів.

Бальна оцінка економічної ефективності даної науково-дослідної роботи наведена у табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Бальна оцінка ефективності НДР

Показники оцінки ефективності НДР	Умовне позначення показника	Характеристика даної розробки	Кількість балів
Важливість розробки	K_1	Робота являє собою частину відомчої програми	5
Можливість використання результатів	K_2	Результатами розробки можуть користуватися споживачі в межах однієї галузі	8
Теоретична значимість та рівень новизни	K_3	Під час виконання роботи отримана нова інформація, яка доповнює уявлення про сутність досліджуваних процесів	3
Складність отриманої розробки	K_4	Робота виконується багатьма підрозділами, витрати від 100 000 до 200 000 гривень	7

Отже, загальна оцінка Б визначається як добуток коефіцієнтів:

$$B = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5, \quad (4.3)$$

Тому в даному випадку бальна оцінка ефективності згідно табл. 4.4:

$$Б = 5 \cdot 8 \cdot 3 \cdot 7 = 840$$

Умовний річний економічний ефект науково-дослідницької роботи визначається :

$$E_{\text{НДР}}^y = 500 \cdot Б - E_{\text{Н}} \cdot V_{\text{НДР}}, \quad (4.12)$$

де 500 – умовна вартість одного балу, грн.;

$E_{\text{Н}}$ – нормативний коефіцієнт економічної ефективності ($E_{\text{Н}} = 0,15 \div 0,5$, для нашого розрахунку обираємо $E_{\text{Н}} = 0,2$);

$V_{\text{НДР}}$ – витрати на виконання НДР (планова річна кошторисна вартість виконання НДР).

Таким чином, умовний річний економічний ефект становить:

$$E_{\text{НДР}}^y = 500 \cdot 840 - 0,2 \cdot 128633,62 = 394273,27 \text{ грн}$$

Коефіцієнт економічної ефективності :

$$E_{\text{НДР}} = \frac{E_{\text{НДР}}^y}{V_{\text{НДР}}} \quad (4.14)$$

де $E_{\text{НДР}}^y = 394273,27$ грн.,

$V_{\text{НДР}} = 128633,62$ грн.

Отже, маємо:

$$E_{\text{НДР}} = \frac{394273,27}{128633,62} = 3,06$$

Отримана розрахункова величина коефіцієнта економічної ефективності НДР свідчить про доцільність виконання даної роботи.

4.5 Висновки до розділу 4

Було розраховано планову кошторисну вартість (собівартість) НДР, яка склала 128633,62 грн.

У ході проведення економічного аналізу доцільності даної науково-

дослідницької роботи було виявлено, що дане дослідження є доцільним з економічної точки зору.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Однією з умов стабільного соціально-економічного розвитку суспільства є трудова активність всіх його членів і забезпечення безпеки їх життєдіяльності. Охорона праці – система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини в процесі трудової діяльності.

Мета розділу – аналіз небезпечних і шкідливих факторів, які мають місце при дослідженні процесів мартенситного перетворення, а також розробка заходів та засобів для їх максимального усунення. Науково-дослідницька робота проводилась в інституті металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України в кімнаті № 432.

5.1 Правові та організаційні питання охорони праці на підприємстві

Основними нормативними документами з охорони праці є Закон України «Про охорону праці», Кодекс законів про працю України, Закон України "Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності" та прийняті відповідно до них нормативно-правові акти.

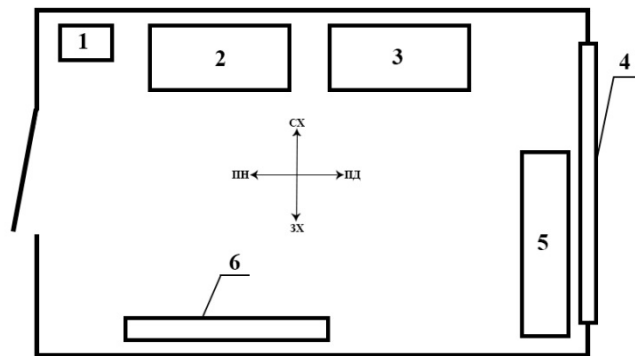
Згідно посібника «Безпека життєдіяльності» [38], роботодавець зобов'язаний створити на робочому місці в кожному структурному підрозділі умови праці відповідно до нормативно-правових актів, а також забезпечити дотримання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці. У підручнику «Основи охорони праці» викладені обов'язки працівника (виконання вимог нормативно-правових актів з охорони праці, знання правил поведінки з машинами/ механізмами, проходження медичних оглядів та ін.) [39]. Виходячи з цього, на підприємстві з кількістю працюючих 50 і більше осіб роботодавець створює службу охорони праці відповідно до типового положення, що

затверджується центральним органом виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері охорони праці [40].

Служба охорони праці підпорядковується безпосередньо директору Інституту металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України Валентину Андрійовичу Татаренку. Начальником служби охорони праці в Інституті металофізики є Гончаренко Т.Ю. За пожежну безпеку в кімнаті № 432 (де виконується дослідницька робота) відповідальним є Ліхачев Олександр Юрійович.

5.2 Аналіз параметрів приміщення

Схематичне зображення кімнати № 432 інституту металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України, у якій проводились дослідницькі роботи, а також розташування всіх елементів представлено на рис. 5.1. У даній кімнаті відбувалась підготовка зразків, проведення експерименту на приладі для визначення критичних температур МП і кількісного визначення ступеня відновлення форми.



1 – рукомийник; 2 – письмовий стіл з комп'ютером; 3 – письмовий стіл; 4 – вікно; 5 – стіл з приладом; 6 – книжкова шафа

Рисунок 5.1 – Схема кімнати № 432, в якій виконувалась науково-дослідницька робота

Також були виміряні параметри приміщення, значення яких наведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Параметри приміщення

Розміри лабораторії			Розміри вікна	
ширина, м	довжина, м	висота, м	ширина, м	висота, м
5	7	3,5	2,6	2,3

Кімната має площу 35 м^2 , об'єм $= 122,5 \text{ м}^3$. В кімнаті працює троє людей, тому на одну людину приходиться $11,66 \text{ м}^2$ площі та $40,83 \text{ м}^3$ об'єму. За вимогами ДСан Пін 3.3.2-007-98 [41] на одну людину повинно приходиться не менше 6 м^2 площі та 20 м^3 об'єму. Виходячи з цього, параметри приміщення відповідають нормам.

Для забезпечення оптимального мікроклімату “Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень” ДСН 3.3.6.042-99 [42] встановлюють оптимальні і допустимі температури, відносну вологість та швидкість руху повітря в робочій зоні в залежності від пори року та категорії важкості робіт.

Згідно ДСН 3.3.6.042-99 [42] категорія важкості робіт – I б. Ця категорія містить легкі фізичні роботи до 150 ккал/год , які супроводжуються деякою фізичною напругою та виконуються сидячи, стоячи, і роботи пов'язані з ходьбою. Результати дослідження та нормовані величини параметрів мікроклімату в робочій зоні кімнати № 432 наведені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Мікроклімат лабораторії та допустимі значення згідно ДСН 3.3.6.042-99 [42]

Період року	Температура повітря, °С		Відносна вологість, %		Швидкість руху повітря, м/с	
	Вимір.	Доп.	Вимір.	Доп.	Вимір.	Доп.
Холодний	15	21 – 24	69	<75	0,15	<0,2

Продовження таблиці 5.2

Період року	Температура повітря, °С		Відносна вологість, %		Швидкість руху повітря, м/с	
	Вимір.	Доп.	Вимір.	Доп.	Вимір.	Доп.
Теплий	24	21 – 28	53	55	0,2	0,1 – 0,3

Висновок: мікроклімат в лабораторії не відповідає вимогам санітарних норм ДСН 3.3.6.042-99 [42]. Необхідно підвищити температуру повітря в холодну пору року на 6 – 9 °С.

5.3 Аналіз освітленості приміщення

Залежно від джерел світла освітлення може бути природним, що створюється прямими сонячними променями та розсіяним світлом небосхилу; штучним, що створюється електричними джерелами світла, та суміщеним, при якому недостатнє за нормами природне освітлення доповнюється штучним [43].

При надмірній яскравості джерел світла та оточуючих предметів може відбутись засліплення робітника. Нерівномірність освітлення та неоднакова яскравість оточуючих предметів призводять до частої переадаптації очей під час виконання роботи і, як наслідок цього – до швидкого втомлення органів зору.

У даній лабораторії присутнє природне бокове (вікна з південного боку), а також штучне освітлення.

Зовнішнє освітлення при небі, вкритому хмарами, становить 1000 лк. Для місцевого освітлення використовуються лампи розжарювання, для загального – люмінесцентні ЛБ-40 (20 шт. у лабораторії).

5.4 Шум та вібрація

У лабораторії є витяжна шафа, яка застосовувалась для травлення зразків. При роботі цього устаткування рівень шуму не перевищує допустимий рівень ДСН 3.3.6.037-99 [44], що не призводить до виникнення профзахворювань. У даному випадку допустимий рівень шуму становить 25 дБА.

Шум – це сукупність звуків різноманітної частоти та інтенсивності, що виникають в результаті ковалентного руху частинок у пружному середовищі. Під впливом шуму відбувається зниження слухової чутливості. Найбільш ефективний засіб боротьби з шумом — зниження його в джерелі створення.

Граничні величини шуму на робочих місцях регламентуються ДСН 3.3.6.037 - 99 [44]. У ньому закладено принцип встановлення певних параметрів шуму, виходячи з класифікації приміщень за їх використанням для трудової діяльності різних видів ДСН 3.3.6.037-99 [44].

Вібрація – це механічні коливання пружних тіл або коливальні рухи механічних систем. Для людини вібрація є видом механічного впливу, який має негативні наслідки для організму.

До джерел технологічної вібрації відносяться, наприклад, верстати та метало-деревообробне, електричні машини, стаціонарні електричні установки, насосні агрегати та вентилятори та ін.

Характерними ознаками шкідливого впливу вібрації на людину є можливі зміни у функціональному стані: підвищена втома, збільшення часу моторної реакції, порушення вестибулярної реакції. Інженерним методом захисту від вібрації є віброгасіння. Поліпшення організації праці вібронебезпечних процесів: загальна кількість робочого часу в контакті з віброобладнанням не повинна перевищувати зміни; одноразова дія не повинна перевищувати для локальної – 20 хвилин, для загальної – 40 хвилин.

До лікувально – профілактичних заходів відносяться: масаж; заходи, що загально укріплюють організм; гідропроцедури. Вібрація має властивість кумуляції (накопичення в організмі).

Засоби захисту від вібрації викладені в державному стандарті ДСТУ ГОСТ 16519:2008 [45], "Вібраційна безпека. Загальні вимоги".

До засобів індивідуального захисту від вібрації відносяться: спеціальне віброзахисне взуття, рукавиці з м'якими надолонниками.

5.5 Електробезпека

Основним завданням електробезпеки є мінімізація негативного впливу електричного струму на людину. Кімната, де проводилися дослідження, відноситься до класу I – вірно виконане захисне заземлення корпусів, електроустаткування і приладів. Розташування робочих місць таке, що виключає можливість одночасного доторкання до корпусів, електроустаткування і приладів.

На дію електричного ураження впливає ряд факторів: величина струму (1 мА); рід струму (струм перемінний); частота струму (50 Гц); шлях струму в організмі; тривалість дії струму; стан організму; виробниче середовище.

Категорія приміщення визначається наявністю в приміщенні чинників підвищеної або особливої небезпеки електротравм. До чинників підвищеної небезпеки належать: температура в приміщенні, що впродовж доби перевищує 35 °С; відносна вологість більше 75 %, але менше повного насичення (100 %); струмопровідна підлога – металева, бетонна, цегляна, земляна тощо; струмопровідний пил; можливість одночасного доторкання людини до неструмовідних частин електроустановки і до металоконструкцій, що мають контакт із землею.

Проходячи скрізь людину, електричний струм здійснює термічний, електролітичний та біологічний вплив. Термічний вплив проявляється в опіках окремих частин тіла, пошкодження судин, нервів та інших тканин. Електролітичний вплив проявляється в розкладенні крові та інших органічних

рідин, в результаті чого виникає значне порушення їх фізико-хімічного складу. Біологічний вплив проявляється як особливий специфічний процес, який властивий лише живій тканині: подразнення та збудження живих тканин організму, що супроводжується невимушеним скороченням м'язів; порушення внутрішніх біоелектричних процесів.

5.6 Пожежна безпека

Відповідно до ДБН В.2.5.-56:2014 [46 – 48], приміщення за вибухопожежною та пожежною небезпекою поділяють на п'ять категорій (А, Б, В, Г, Д):

а) категорія А (вибухонебезпечна) – горючі гази, легкозаймисті речовини з температурою спалаху не більше 28 °С в такій кількості, що можуть утворюватися вибухонебезпечні парогазоповітряні суміші, при спалахуванні котрих розрахунковий надлишковий тиск вибуху в приміщенні перевищує 5 кПа. Речовини та матеріали здатні вибухати та горіти при взаємодії з водою, киснем повітря або одне з одним в такій кількості, що розрахунковий надлишковий тиск вибуху в приміщенні перевищує 5 кПа;

б) категорія Б (вибухопожежонебезпечна) – вибухонебезпечний пил і волокна, легкозаймисті рідини з температурою спалаху більше 28 °С та горючі рідини за температурних умов і в такій кількості, що можуть утворюватися вибухонебезпечні пилоповітряні або пароповітряні суміші, при спалахуванні котрих розвивається розрахунковий надлишковий тиск вибуху в приміщенні, що перевищує 5 кПа;

в) категорія В (пожежонебезпечна) – горючі рідини, тверді горючі та важкогорючі речовини, матеріали, здатні при взаємодії з водою, киснем повітря або одне з одним горіти лише за умов, що приміщення, в яких вони знаходяться або використовуються, не належать до категорій А та Б;

г) категорія Г – негорючі речовини та матеріали в гарячому, розжареному або розплавленому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням

Рисунок 5.2 – План евакуації

5.7 Висновки до розділу 5

У результаті проведення аналізу параметрів приміщення було встановлено, що мікроклімат у каб. № 432, який знаходиться і інституті металофізики НАН України, не відповідає вимогам санітарних норм ДСН 3.3.6.042-99. Для досягнення необхідних норм необхідно підвищити температуру повітря в холодну пору року на 6 – 9 °С.

Аналізуючи результати досліджень на рівень шуму, вібрації, рівня освітленості, електробезпеки та пожежної безпеки можна стверджувати, що приміщення є придатними для безпечної праці.

ВИСНОВКИ

Робота виконувалась в рамках більш глобальної задачі – створення ВЕС, які зазнають мартенситного перетворення.

1. Створено ВЕС TiZrHfNbTaNiCu , де титан, цирконій, гафній, ніобій та тантал можна вважати умовно елементами типу «титану», а нікель та мідь - типу «нікель» відповідно. В якості сплаву еталону використано загально відомий своїми гарними властивостями нікелід титану.

2. Проведено комплекс сучасних досліджень запропонованого сплаву TiZrHfNbTaNiCu та встановлено, що в ньому присутня суміш В2 фаз. Визначено, що сплав TiZrHfNbTaNiCu має дендритну структуру зі складом Ti_4NbTa та ділянки, де структура схожа на мартенситний рельєф.

3. Питання щодо існування в сплаві МП потребує подальшого дослідження, щодо здатності відновлювати форму і остаточного підтвердження існування мартенситного рельєфу.

4. Розраховано планову кошторисну вартість (собівартість) НДР, яка склала 128633,62 грн. Виявлено, що дане дослідження є доцільним з економічної точки зору.

5. Встановлено, що мікроклімат приміщення, в якому проводились дослідження, не відповідає вимогам санітарних норм. Для досягнення необхідних норм необхідно підвищити температуру повітря в холодну пору року на 6 – 9 °С;

CONCLUSIONS

The work was performed within the framework of a more global task – the creation of HEA that undergo martensitic transformation (MT).

1. The HEA of TiZrHfNbTaNiCu was created, where titanium, zirconium, hafnium, niobium and tantalum can be conventionally considered elements of the "titanium" type, and nickel and copper – of the "nickel" type, respectively. Titanium nickelide, known for its good properties, was used as the reference alloy.

2. A complex of modern studies of the proposed TiZrHfNbTaNiCu alloy was conducted and it was established that it contains a mixture of B2 phases. It was determined that the TiZrHfNbTaNiCu alloy has a dendritic structure with a composition of Ti_4NbTa and areas where the structure is similar to martensitic relief.

3. The question of the existence of MT in the alloy requires further research, regarding the ability to restore the shape and the final confirmation of the existence of martensitic relief.

4. The planned estimated cost of the SRW (scientific research work) was calculated, which amounted to UAH 128633,62. During the economic analysis of the feasibility of this research work, it was found that this research is feasible from an economic point of view.

5. As a result of the analysis of the parameters of the room, it was established that the microclimate of the room in which the research was conducted does not meet the requirements of the sanitary standards. To achieve the required standards, it is necessary to increase the air temperature in the cold season by 6 – 9 °C;

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Zatsarna O. Phenomenon of ignition and explosion of high-entropy alloys of systems Ti-Zr-Hf-Ni-Cu, Ti-Zr-Hf-Ni-Cu-Co under quasi-static compression / O. Zatsarna // *Frattura ed Integrità Strutturale*. – 2024. – Vol. 18, no. 68. – P.410.
2. Development of high-entropy shape-memory alloys: structure and properties. / G. S. FIRSTOV [et al.] // *Progress in Physics of Metals / Uspehi Fiziki Metallov*. – 2023. – Vol. 24, no. 4. – P. 8–19.
3. Perkins J. Shape Memory Effects in Alloys / J. Perkins // *Springer US*. –1975. – Vol.1 – P.579.
4. Nishiyama Z. Martensitic Transformation / Z. Nishiyama // *Elsevier Science & Technology Books*. – 2012. – Vol.1 – P.480.
5. Fischer-Kowalski M. Society's Metabolism/ M. Fischer-Kowalski // *Journal of Industrial Ecology*. – 1998. – Vol. 2, no. 4. – P.107 – 136.
6. High Entropy Shape Memory Alloys / G. S. Firstov [et al.] // *Materials Today: Proceedings*.–2015.–Vol. 2.–P.499 – 503.
7. Pettifor D. G. Theory of the crystal structures of transition metals / D. G. Pettifor // *Journal of Physics C: Solid State Physics*. – 1970. – Vol. 3, no. 2. – P. 367 – 377.
8. Guo S. Phase stability in high entropy alloys: Formation of solid-solution phase or amorphous phase/ S. Guo, T. Liu // *Progress in Natural Science: Materials International*. – 2011. – Vol. 21. – P. 433–446.
9. Directions for High-Temperature Shape Memory Alloys' Improvement: Straight Way to High-Entropy Materials / G. S. Firstov [et al.] // *Shape Memory and Superelasticity*. – 2015. – Vol. 1. – P. 400 – 407.
10. Electronic and crystal structure of the high entropy TiZrHfCoNiCu intermetallics undergoing martensitic transformation / G. Firstov [et al.] // *MATEC Web of Conferences*. – 2015. – Vol. 33. – P.06006.

11. Pettifor D. G. Theory of the crystal structures of transition metals / D. G. Pettifor // Journal of Physics C: Solid State Physics. – 1970. – Vol. 3. – P.367 – 377.
12. Guo S. Phase stability in high entropy alloys: Formation of solid-solution phase or amorphous phase/ S. Guo, T. Liu // Progress in Natural Science: Materials International. – 2011. – Vol. 21. – P. 433 – 446.
13. Directions for High-Temperature Shape Memory Alloys' Improvement: Straight Way to High-Entropy Materials / G. S. Firstov [et al.] // Shape Memory and Superelasticity. – 2015. – Vol. 1. – P.400 – 407.
14. Electronic and crystal structure of the high entropy TiZrHfCoNiCu intermetallics undergoing martensitic transformation / G. Firstov [et al.] // MATEC Web of Conferences. – 2015. – Vol. 33. – P.06006.
15. Siemens R.E. The Allotropic Transformation of Hafnium / Siemens R.E. // Mines. Rept. Invest. – 1964. – Vol.11. – P.6942.
16. Taylor A. The constitution diagram of the niobium-hafnium system / A.Taylor, N.J. Doyle // J. Less-Common Met. – 1964. – Vol.71. – P.37 – 54.
17. Jackson W.A. Effect of alloying on the mechanical properties of niobium / W.A. Jackson, A.J. Perkins, R.F. Hehemann / Met. Trans. – 1970. – Vol.7. – P.2014 – 2016.
18. Carpenter R. W. Phase relations in concentrated Ta-Hf and Nb-Hf alloys / R.W. Carpenter, C.T. Liu, R.G. Mardon // Met. Trans. – 1971. – Vol.2. – P.125
19. Dong Y. Effects of electro-negativity on the stability of topologically close-packed phase in high entropy alloys / Y. Dong, L. Jian, T. Wang // Intermetallics.–2014. – Vol.52 – P.105 – 109.
20. Carpenter R.W. Phase relations in concentrated Ta-Hf and Nb-Hf alloys / R.W. Carpenter, C.T. Liu, // Met. Trans. – 1971. – Vol.2. № 1. – P.125 – 131.
21. Effects of electro-negativity on the stability of topologically close-packed phase in high entropy alloys/ Y. Dong [et al] // Intermetallics. – 2014. – Vol.52. – P.105–109.
22. Effect of vanadium addition on the microstructure and properties of AlCoCrFeNi high entropy alloy/ Y. Dong [et al] // Materials and Design. –

2014. – Vol.57. – P.67 – 72.

23. Guo S. Phase stability in high entropy alloys: Formation of solid-solution phase or amorphous phase / S. Guo, C.Liu // Progress in Natural Science: Materials International. – 2011. – Vol.21. – P.433 – 446.
24. Effect of valence electron concentration on stability of fcc or bcc phase in high entropy alloys / S. Guo [et al] // Journal of Applied Physics. – 2011. – Vol.109. – P.1 – 5.
25. A precipitation-hardened high-entropy alloy with outstanding tensile properties/ J.Y. He [et al] // Acta Materialia. – 2016. –Vol.102. – P.187 – 196.
26. Treasure maps for magnetic high-entropy-alloys from theory and experiment / F. Körmann // Applied Physics Letters. – 2015. – Vol.107. – P.142404.
27. An assessment on the future development of high-entropy alloys: Summary from a recent workshop Z.P. Lu. // Intermetallics. – 2015. – Vol.66. – P.67 – 76.
28. Exploration and Development of High Entropy Alloys for Structural Applications/ D.Miracle // Entropy. – 2014. – Vol.16. – P.494 – 525.
29. Murty B.S. High-Entropy Alloys. / B.S. Murty, J.W Yeh, S. Ranganathan // Oxford: Butterworth-Heinemann. – 2014. – Vol.12. – P.219.
30. Geometrical parameter for the formation of disordered solid solutions in multi-component alloys / A.K. Singh [et al] // Intermetallics. – 2014. – Vol. 53 – P.112 – 119.
31. High-entropy alloys as high-temperature thermoelectric materials/ Shafeie S. [et al] // Journal of Applied Physics. – 2015. – Vol.118. – P.184.
32. Takeuchi A. Classification of bulk metallic glasses by atomic size difference, heat of mixing and period of constituent elements and its application to characterization of the main alloying element / A. Takeuchi // Materials Transactions. – 2005. – Vol.46. – P.2817 – 2829.
33. Tsai M.H. High-Entropy Alloys: A Critical Review/ M.H. Tsai // Materials Research Letters. 2014. – Vol 2. – P.107 – 123.
34. Yeh J.W. Physical Metallurgy of High-Entropy Alloys / J.W. Yeh // JOM. – 2015. – Vol.67. – P.2254 – 2261.

35. The high-entropy alloys with high hardness and soft magnetic property prepared by mechanical alloying and high-pressure sintering / P.F. Yu [et al] // Intermetallics. – 2016. – Vol.70. – P.82 – 87.
36. Alloy Design and Properties Optimization of High-Entropy Alloys / Y. Zhang [et al] // JOM. – 2012. – Vol.64. – P.830 – 838.
37. Solid-Solution Phase Formation Rules for Multi component Alloys. / Y. Zhang [et al] // Advanced Engineering Materials. – 2008. – Vol.10. – P.534 – 538.
38. Желібо Є.П. Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів освіти України I-IV рівнів акредитації / Є.П. Желібо, Н.М. Заверуха, В.В. Зацарний // За ред. Є.П. Желібо. – Київ: «Каравела»; 2001. – 320 с.
39. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання / К.Н. Ткачук, М.О. Халімовський, В.В. Зацарний та ін. – К.: Основа, 2006. – 448 с.
40. Левченко О.Г. Охорона праці та цивільний захист [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальностей 132 «Матеріалознавство» та 136 «Металургія» / О.Г. Левченко // КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 337 с.
41. Документація. Будівельні норми і правила : ДСан ПіН 3.32.007 – 98 – [Чинний від 01.04.2019]. – Київ: «Український зональний науково-дослідний і проектний інститут по цивільному будівництву», 2019. – 99 с.
42. Документація. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень: ДСН 3.3.6.042-99. – [Чинний від 01.12.1999]. – Київ: Міністерство охорони здоров'я, 1999. – 10 с.
43. Документація . Природне та штучне освітлення : ДБН В.2.5.28-2006 – [Чинний від 01.10.2006]. – Київ: «Мінбуд Ураїни», 2006. – 78 с.
44. Документація. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку: ДСН 3.3.6.037-99. – [Чинний від 01.12.1999]. – Київ: Міністерство охорони здоров'я, 1999. – 17 с.
45. Вібрація та захист від неї [Електронний доступ] / Режим доступу до ресурсу <https://www.diagram.com.ua/info/ohrana/ohrana-truda187.shtml> (дата звернення: 25.05.2024).

46. Документація. Інженерне обладнання будинків і споруд. Пожежна автоматика будинків і споруд: ДБН В2.5-13-98. – [Чинний від 01.01.2007]. – Київ: ЗАТ «Спецавтоматика», 2007. – 79 с.
47. Документація. Системи протипожежного захисту : ДБН В.2.5-56:2014. – [Чинний від 01.11.2019]. – Київ : ПП «НТЦ УСВППП», 2018. – 27 с.
48. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання / К.Н. Ткачук, М.О. Халімовський, В.В. Зацарний та ін. – К.: Основа, 2006. – 448 с.
49. Охорона праці та цивільний захист / О.Г. Левченко, О.І. Полукаров, В.В. Зацарний та ін. // За ред. О.Г. Левченка. – К.: Основа, 2019. – 472 с.