

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

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

Кафедра фізичного матеріалознавства та термічної обробки

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Мирослав КАРПЕЦЬ

«__» _____ 2023 р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Металофізичні процеси та їх
комп'ютерне моделювання»**

спеціальності 132 «Матеріалознавство»

**на тему: «Вплив низькотемпературного старіння на структуру і
протікання мартенситного перетворення в сплавах Cu-Al-Mn»**

Виконав: студент IV курсу, групи ФМ-91,
Поночовний Ростислав Сергійович

Керівник: к.т.н. доцент кафедри ФМТО,
Демченко Леся Дмитрівна

Консультант з питань нормоконтролю:
доцент каф. ФМТО Бурмак Андрій Петрович

Консультант з ОП та безпеки НС:
професор, д.т.н. Левченко Олег Григорович

Консультант з економічно-організаційного розділу:
доцент, к.е.н. Нараєвський Сергій Вікторович

Рецензент:
професор каф. ВТМтаПМ, д.т.н., професор:
Мініцький Анатолій В'ячеславович



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

Студент _____

Київ – 2023 рік

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

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 132 «Матеріалознавство»

Освітньо-професійна програма «Металофізичні процеси та їх комп'ютерне моделювання»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Мирослав КАРПЕЦЬ

«___» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Поночовному Ростиславу Сергійовичу

1. Тема роботи «Вплив низькотемпературного старіння на структуру і протікання мартенситного перетворення в сплавах Cu-Al-Mn», керівник роботи Демченко Леся Дмитрівна, к.т.н., доцент кафедри ФМТО, затверджені наказом по університету від «01» червня 2023 р. №2122-с.

2. Термін подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи стрічки зі сплаву з пам'яті форми Cu-Al-Mn, результати переддипломної практики

4. Зміст роботи:

а) аналіз літературних джерел, що стосуються тематики дослідження, обґрунтування вибору конкретних матеріалів, опис процесу обробки зразків, вибір та опис використаних методів дослідження, аналіз та опис отриманих результатів дослідження, а також формулювання висновків, зроблених на основі цих результатів

- б) охорона праці: аналіз шкідливих факторів та розгляд методів їх усунення;
- в) організаційно-економічна частина: розрахунок планової кошторисної вартості, оцінка всіх витрат, які виникають під час виконання науково-дослідницької роботи.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо) 62 сторінки, 16 рисунків, 11 таблиць, 1 презентація.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
ОП та безпеки в НС	Левченко О.Г., професор, д.т.н.		
Економічно-організаційний розділ	Нараєвський С. В., доцент, к.е.н.		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Визначення та узгодження теми ДР	17.04.2023	
2	Проведення літературного огляду	18.04.2023 – 08.05.2023	
3	Розробка методики експериментів	18.04.2023 – 08.05.2023	
4	Підготовка першого та другого розділів	18.04.2023 – 08.05.2023	
5	Проведення термічної обробки	18.04.2023 – 28.04.2023	
6	Обробка результатів та підготовка третього розділу	11.05.2023 – 19.05.2023	
7	Підготовка четвертого і п'ятого розділів та оформлення ДР	29.05.2023 – 09.06.2023	
8	Попередній захист	14.06.2023	
9	Захист на засіданні ЕК	20.06.2023	

Студент

Ростислав ПОНОЧОВНИЙ

Керівник



Леся ДЕМЧЕНКО

РЕФЕРАТ

Звіт з дипломної роботи: 63 сторінка, 16 рисунків, 11 таблиць, 28 літературних джерела.

β-ФАЗА, ВІДПАЛ, ЗАГАРТУВАННЯ, МАРТЕНСИТНЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ, НАДПРУЖНІСТЬ, ПАМ'ЯТЬ ФОРМИ, СПЛАВИ Cu-Al-Mn

Об'єкт дослідження: сплави з пам'яттю форми на основі Cu-Al-Mn.

Мета роботи: дослідити вплив низькотемпературного старіння на зміни структури і протікання мартенситного перетворення в сплавах Cu-Al-Mn.

Методи дослідження: проведення металографічного, хімічного, рентгеноструктурного фазового аналізу.

Результати досліджень: хімічний склад та спосіб термічної обробки впливають на структуру, склад фаз та на температуру при якій відбувається мартенситне перетворення. Старіння за температури 200 °C протягом 12 годин призвело до підвищення температури протікання фазового мартенситного перетворення. Виявлено, що відпал сприяє утворенню нанодисперсної β₃-фази Cu₂AlMn під час старіння пересиченого твердого розчину Al і Mn у загартованій β-фазі Cu.

Практичне значення: отримані результати досліджень мають практичне значення у застосуванні сплавів з пам'яттю форми для розробки та виготовлення нових перспективних матеріалів.

ABSTRACT

Attestation bachelor work: 63 pages, 16 figures, 11s tables, 28 literature sources

ANNEALING, β -PHASE, COPPER ALLOYS, HARDENING, MARTENSITIC TRANSFORMATION, SHAPE MEMORY, SUPERELASTICITY, Cu-Al-Mn ALLOYS

Object of research: shape memory alloys based on Cu-Al-Mn.

Purpose of the study: to research the effect of low-temperature aging on changes in structure and martensite transformation behavior in Cu-Al-Mn alloys.

Research methods: conducting metallographic analysis, chemical analysis, X-ray structural phase analysis.

Research results: the chemical composition and thermal treatment method affect the structure, phase composition, and the temperature at which martensitic transformation occurs. Aging at a temperature of 200 °C for 12 hours resulted in an increase in the phase transformation onset temperature for martensitic transformation. It has been found that annealing promotes the formation of a nanodispersed β_3 -phase Cu_2AlMn during the aging of a supersaturated solid solution of Al and Mn in the quenched β phase Cu.

Practical application: the obtained research results have practical significance in the application of shape memory alloys for the development and production of new promising materials

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ	8
ВСТУП.....	9
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	11
1.1 Функціональні матеріали – сплави з пам'яттю форми і їх використання.....	11
1.2 Фазові діаграми та фази в системі Cu-Al-Mn.....	14
1.3 Структура, властивості і мартенситні перетворення в сплавах на основі Cu-Al	16
1.4 Висновки до розділу 1	20
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ.....	21
2.1 Матеріали дослідження	21
2.2 Методи дослідження	22
2.2.1 Металографічний аналіз.....	22
2.2.2 Хімічний аналіз	25
2.2.3 Рентгеноструктурний фазовий аналіз	26
2.3 Висновки до розділу 2	29
3 РЕЗУЛЬТАТИ І ОБГОВОРЕННЯ	30
3.1 Хімічний склад сплаву Cu-Al-Mn і температура протікання мартенситного перетворення.....	30
3.2 Мікроструктура поверхні сплаву Cu-Al-Mn.....	32
3.3 Фазовий склад сплавів на основі Cu	34
3.4 Висновки до розділу 3	38
4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	39
4.1 НАУКОВО-ТЕХНІЧНА АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	39
4.1.1 Мета і завдання НДР	39
4.2 Розрахунок планових витрат на проведення НДР	40
4.2.1 Витрати на оплату праці.....	40
4.2.2 Визначення розміру єдиного соціального внеску	42

4.2.3 Матеріали необхідні для проведення досліджень	43
4.2.4 Витрати на спеціальне обладнання	43
4.2.5 Вартість обслуговування сторонніми організаціями	44
4.2.6 Підрахунок витрат на службові відрядження	44
4.2.7 Інші прямі невраховані витрати по темі	44
4.2.8 Накладні витрати.....	44
4.2.9 Розроблення планової калькуляції кошторисної вартості теми.....	45
4.3 Наукова ефективність НДР	45
4.4 Висновки до розділу 4	49
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	50
5.1 Аналіз параметрів приміщення.....	50
5.2 Мікроклімат робочої зони	51
5.3 Аналіз освітленості приміщення	52
5.4 Організація робочого місця.....	53
5.5 Виявлення і аналіз наявності шуму	54
5.6 Виробниче випромінювання	54
5.7 Безпека при роботі з електричними приладами.....	55
5.8 Пожежна безпека.....	56
5.10 Висновки до розділу 5	58
ВИСНОВКИ.....	59
CONCLUSIONS.....	60
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	61

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ

СПФ – сплави з пам'яттю форми;

ЕПФ – ефект пам'яті форми;

МП – мартенситне перетворення;

M_T – температура мартенситного перетворення;

M_S – мартенситна фаза;

СЕМ – скануючий електронний мікроскоп;

ТЕМ – трансмісійний електронний мікроскоп;

ЕДС – енергодисперсійна спектроскопія;

НДР – науково-дослідницька робота.

ВСТУП

Сплави з пам'яттю форми (СПФ) – розумні матеріали, широко відомі через термочутливі властивості. Таким чином їх почали розглядати як заміну різним пневматичним, гідравлічним і системам на моторній основі. Саме ці функціональні характеристики викликали увагу на СПФ, а саме ефект пам'яті форми, псевдопружність і термопружність, що є результатом характеристик мартенситного перетворення в цих сплавах.

Цей ефект базується на термоеластичній мартенситній трансформації, яка відбувається між метастабільною фазою β ($L2_1$) та мартенситною фазою. Фаза β , неупорядкована при високих температурах, але стає упорядкованою при стабілізації за низької температури. Цей порядок успадковується мартенситною фазою при виникненні мартенситної трансформації, оскільки цей процес не включає дифузію атомів [1].

Мартенситні структури, що виникають з фази β (з DO_3 або $L2$ порядковими структурами), можна ідентифікувати як структури 3R, 9R, 18R або 2H в нотації Рамслея, де кристалічну ґратку можна представити у вигляді орторомбічної решітки.

Загальна ідея полягає в тому, що за допомогою контрольованої зміни температури, напруги або магнітного поля можна досягти формування різних мартенситних структур в сплаві з пам'яттю форми. Це дозволяє зберігати форму та структуру сплаву в певних умовах та повертати їх до первісного стану в інших умовах [2].

Сплави з пам'яттю форми (СПФ), на основі Ni-Ti, Cu та Fe-Mn-Si, мають комерційний потенціал для практичного застосування властивостей СПФ та привертають увагу як матеріали з високою амортизацією. Серед цих СПФ найбільш привабливими для практичних застосувань є ті, які базуються на міді, завдяки низькій вартості та відносно хорошим властивостями СПФ. Однак, СПФ на основі міді з високим ступенем упорядкування, такі як Cu-Al-Ni та Cu-Zn-Al з полікристалічною структурою, є занадто крихкий для достатньої

холодної обробки. Необхідно зазначити, що було зроблено багато спроб покращити пластичність таких СПФ на основі міді шляхом зернорозмірного покращення, проте були отримані лише не значні успіхи [3].

У 1995 році Кайнума [4, 5] вперше повідомив, що сплави на основі Cu-Al-Mn зі складом Al менше 17 % мають відмінну пластичність і є потенційними для використання в якості практичних СПФ. До цього часу було досліджено багато різних властивостей, таких як односторонній ефект пам'яті форми, двосторонній ефект пам'яті форми, псевдопружність [5], властивості амортизації та низький коефіцієнт термічного розширення, у СПФ на основі Cu-Al-Mn, було показано, що мікроструктурне керування факторами, такими як розмір зерен та контроль текстури покращує властивості до рівня сплавів NiTi [6, 5].

Вивчення сплавів з пам'яттю форми є актуальним з кількох причин. Перш за все, ці сплави мають унікальні властивості, що робить їх цінними для різних застосувань. Сплави з пам'яттю форми володіють здатністю запам'ятовувати свою форму і при певних умовах можуть відновлювати свою початкову форму після деформації. Це забезпечує їм високу еластичність і можливість використання в таких областях, як медицина, авіація, автомобілебудування, електроніка та інші.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Функціональні матеріали – сплави з пам'яттю форми і їх використання

Функціональні матеріали – це група матеріалів, які можуть зазнавати деформації та повертатися до своєї початкової форми після впливу зовнішніх факторів, таких як температура або механічний тиск. Серед них є сплави з пам'яттю форми, які часто містять нікель, титан або мідь.

Основною характеристикою сплавів з пам'яттю форми є їх здатність повторювати зміни форми та повертатися до початкової форми при певних змінах температури. Це досягається завдяки фазовому перетворенню, яке відбувається під час нагрівання та охолодження. Коли сплав знаходиться в низькотемпературному стані, він зберігає свою початкову форму у твердій фазі. При підвищенні температури до певного значення сплав переходить у м'який, деформований стан, що дозволяє змінювати форму. При охолодженні до низькотемпературного стану сплав повертається до початкової форми.

Сплави з пам'яттю форми мають широкий спектр застосувань у різних галузях, таких як медицина, авіаційна та космічна промисловість, виробництво одягу, електроніка і т.д. В медицині вони використовуються для виготовлення стентів, які можуть бути розширені внутрішнім тиском крові та повернуті до своєї початкової форми. У авіаційній та космічній промисловості вони використовуються для виготовлення деталей, які повинні зберігати свою форму. Сплави з пам'яттю форми широко використовуються у виробництві одягу та електроніки, оскільки вони здатні зберігати свою форму після використання в різних умовах, таких як висока температура та вібрації. Ці матеріали мають довговічний термін служби та стійкість до корозії, що дозволяє їм працювати в широкому діапазоні температур. Застосування сплавів з пам'яттю форми розповсюджене в різних галузях, що дає змогу забезпечувати ефективні та економічні рішення для вирішення різних завдань [5].

Сплави з пам'яттю форми (СПФ) є важливою групою металевих матеріалів з нелінійними властивостями, такими як ефект пам'яті форми, псевдопружність та ефект демпінгу. Псевдопружні волокна з пам'яттю форми вбудовуються у композити, щоб підвищити міцність і стійкість до пошкоджень композитів, що є найкращим для космічних досліджень. Основні застосування СПФ розподіляються на чотири основні категорії на основі їх основної функції елементів пам'яті, які включають вільне відновлення, обмежене відновлення, виробництво та псевдопружність. Завдяки винятковим властивостям СПФ, вони мають так багато застосувань у багатьох галузях роботи, таких як автомобільна, біомедична, авіаційна, автоматизація та керування (робототехніка), хімічна обробка, енергетичний сектор, сектор здоров'я, електронні пристрої (безпека) та багато іншого [7].

Властивість біосумісності сприяє використанню сплавів з пам'яттю форми в біомедичній промисловості. Ці біосумісні матеріали не спричиняють утворення інфекцій у тілі пацієнта і не потрапляють у кровообіг. Окрім біосумісності, СПФ мають хороші механічні властивості, що дозволяє їх широко використовувати в ортопедичних та ортодонтичних імплантаціях [8].

Перший прилад, розроблений на основі сплавів з пам'яттю форми - фільтр Сімон, був визначним досягненням технології для нового покоління пристроїв. Він використовувався для боротьби з легеневою емболією. Цей прилад допомагав фільтрувати згортки та утримувати їх у кровотоку. Сплави з пам'яттю форми широко використовуються в багатьох кардіоваскулярних додатках, таких як стенти, ендопротези, кріплення для інтрацеребральних стержнів та експериментальні пристрої для активації штучного серця. Фільтр деформується зі свого мартенситного стану і він звільняється за допомогою катетера, що призводить до нагрівання фільтра і допомагає йому повернути свою початкову форму. Інший тип пристроїв – це атріальний септальний пристрій, який допомагає закрити отвір в атрії. Завдяки ризику, пов'язаному з традиційною хірургією, можуть виникнути багато проблем, і цей прилад є альтернативою традиційній хірургії. Він головним чином складається з проволочки СПФ та

поліуретанової плівки, стійкої до води. Ще одним найбільш перспективним винаходом цього десятиліття є саморозгортувані стенти, які використовуються для підтримки внутрішнього діаметру кровоносної судини. Вони використовуються для забезпечення підтримки багатьох внутрішніх проходів, таких як стравохід та жовчний проток. Вони також використовуються для лікування нових аневризм, щоб підтримати судину, яка стала слабкою.

Наприклад, у біомедицинській галузі СПФ використовуються для створення інтраокулярних лінз та інструментів для лапароскопії. У космічній промисловості СПФ використовуються для створення компонентів супутників, таких як антени та детектори. У виробництві автомобілів СПФ використовуються для створення активних систем аеродинаміки та антивібраційних систем. У секторі безпеки СПФ використовуються для створення системи активної безпеки, таких як системи безпеки при зіткненні та системи управління стійкістю.

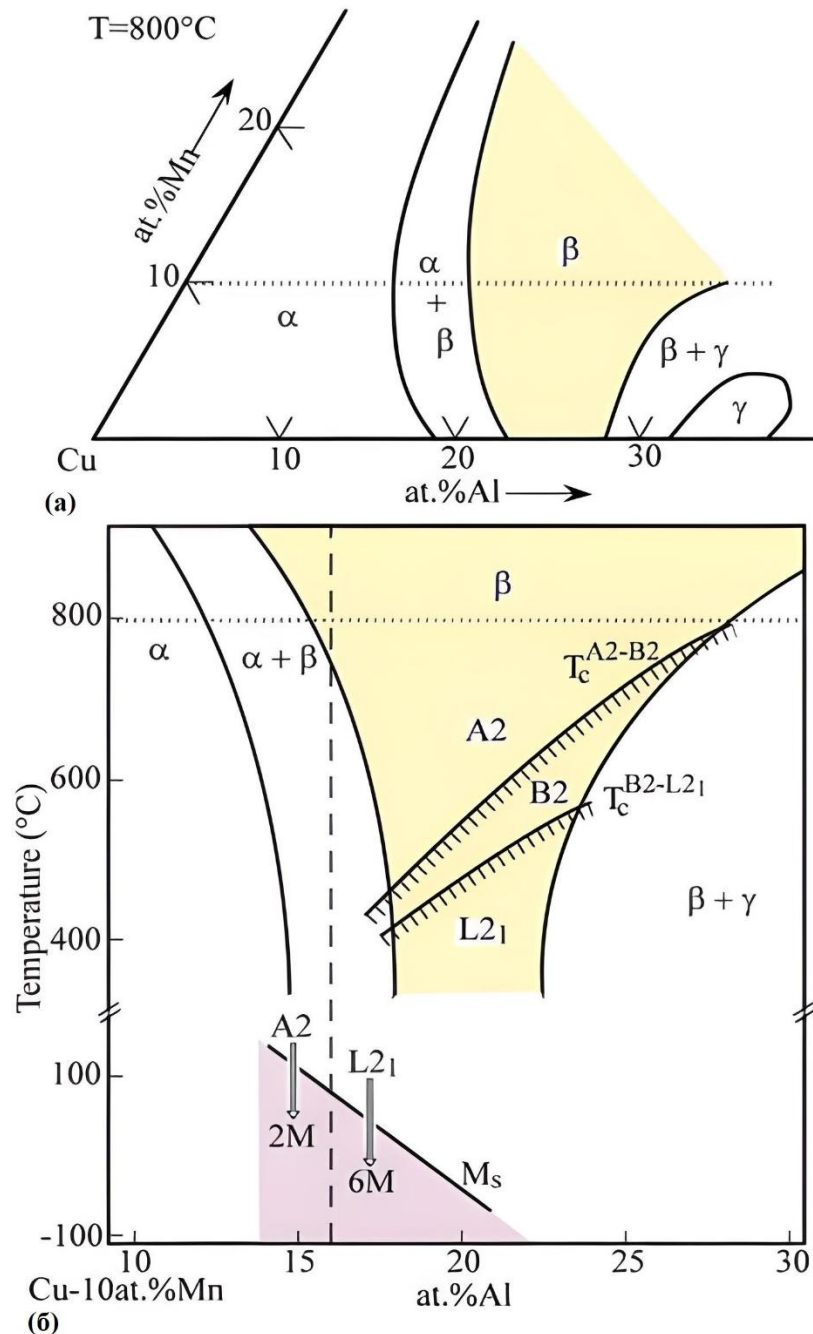
СПФ на основі Cu демонструють чудову пластичність і високі характеристики SM, то їх застосування в різних областях є дуже очікуваним [6]. Для прикладу візьмем медичну направляючу трубку діаметром 0,5 мм, кінчик якої скошений для покращення маневреності в розгалужених кровоносних судинах. Трубка зі сплаву Cu-Al-Mn має унікальну функціонально градуйовану характеристику, яку можна отримати шляхом контролю мікроструктури. Кінчик трубки демонструє відмінну гнучкість і властивість надпружності, які були отримані шляхом контролю відносного розміру зерен, при цьому кінець направляючої трубки демонструє високу жорсткість і міцність. Також ці властивості плавно змінюються в межах від (100 до 500) мм. Такі підвищення жорсткості та міцності викликані шляхом бейнітного перетворення, спричиненого старінням приблизно при (200–400) °C [9].

Дана трубка з Cu-Al-Mn демонструє хороші властивості надпружності. Очікується, що їх будуть використовуватися не тільки в медичному обладнанні, а й у різних інших практичних програмах.

1.2 Фазові діаграми та фази в системі Cu-Al-Mn

Сплави на основі міді, які мають пам'ять форми і включають мідь-цинк, мідь-алюміній та мідь-олово, показують високий потенціал завдяки можливості легкої відновлення форми, простоті виробництва, а також відмінним тепловим та електричним властивостям. Ці сплави є більш доступними, ніж нітінол. Проте, їх використання ще досить обмежене через деякі недоліки, такі як недостатня термічна стабільність, крихкість та недостатня механічна міцність. Ці недоліки пов'язані з мікроструктурними характеристиками сплавів на основі міді, такими як великий розмір зерен, висока пружна анізотропія та наявність вторинних фаз та домішок на межах зерен. Дослідники зосереджуються на вирішенні цих проблем шляхом введення третього компоненту в сплав, розробки альтернативних методів обробки та оптимізації термічної обробки [10].

Термопружне мартенситне перетворення спостерігається лише в сплавах Cu-Al-Mn зі складом поблизу β -фази, рисунок 1.1, і на механічні характеристики сплавів впливає ступінь упорядкованості вихідної фази [11]. На Рисунок 1.1 зображено діаграму рівноваги вертикального розрізу системи Cu-Al-10 ат.% Mn. Видно, що два типи переходів порядок-безлад (β (A_2) $\rightarrow$ β_2 (B_2) і β_2 (B_2) $\rightarrow$ β_1 (L_{2_1})) відбуваються в β -фазовій області діаграми. При загартуванні більшості сплавів Cu-Al-Mn відбувається перетворення в мартенсит, але в різних варіантах – в залежності від вмісту Al. Перетворення $L_{2_1} \rightarrow \beta_1'$ (6M) відбувається, коли вміст Al перевищує 16 мас.% Al, тоді як фаза A_2 перетворюється на структуру γ_1 (2M), коли вміст Al нижче 16 мас.% Al [12]. Це також можна вивести за наявності фаз у системі Cu-Al-Mn, коли змінюється з температурою [11]. Тому, розуміння фазових перетворень є критичним для контролю форми пам'яті та механічної відповіді сплаву.



а) діаграма ізотермічного перерізу при 800°C та б) вертикальна діаграма перерізу в потрійній системі Cu-Al-10 ат. % Mn з $A2/B2$ (T_c^{A2-B2}) та $B2/L2_1$ ($T_c^{B2-L2_1}$), перетвореннями впорядкованого/невпорядкованого типу та мартенситними перетвореннями з початковими температурами M_s [13]

Рисунок 1.1 – Діаграма стану системи Cu-Al-10 ат. % Mn, мартенситне перетворення і високотемпературна β -фаза

На рисунку 1.2 наведена діаграма стану системи Cu-Al-Mn, яка містить три потрійні фази – T1, T2 та T3. Фаза T1 містить (16-20) мас. % Cu, (28-30) мас. % Mn,

та (50-60) мас.% Al, і має температуру плавлення 1020 °С. Фаза Т2 містить 49 мас.% Cu, 14 мас.% Mn, та 37 мас.% Al, а фаза Т3 складається з 58 мас.% Cu, 32,5 мас.% Mn, та 9,5 мас.% Al. У твердому стані, розчин на основі γ -Cu знаходиться у рівновазі з фазами Т1, Т3, та α -Mn + β -Mn при кімнатній температурі.

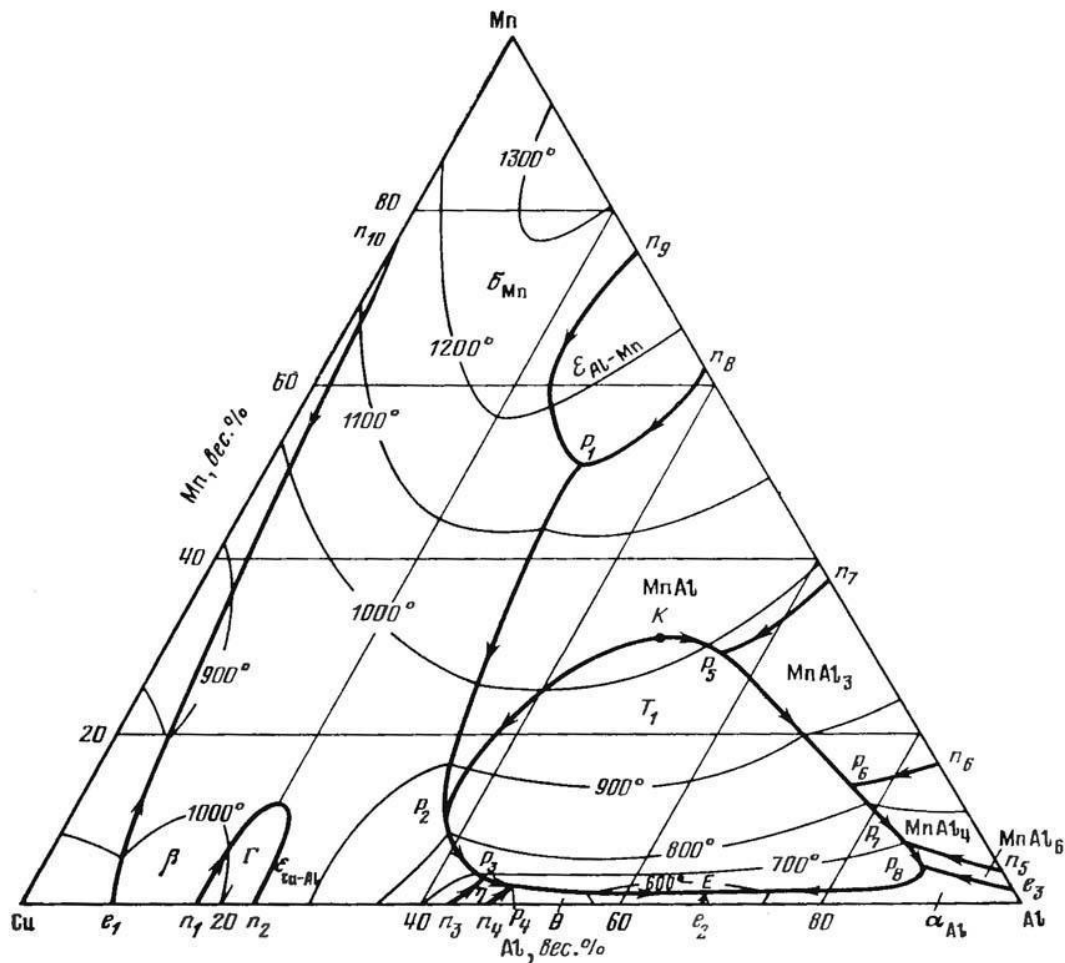


Рисунок 1.2 – Діаграма стану трьохкомпонентної системи Cu-Al-Mn у масових відсотках [14]

1.3 Структура, властивості і мартенситні перетворення в сплавах на основі Cu-Al

Структура сплавів Cu-Al залежить від вмісту алюмінію. У сплавах з вмістом алюмінію до 5 %, структура відповідає мікродомішкам α -різних

розмірів, що розташовані в мідній матриці. У сплавах з вмістом алюмінію більше 5 % і до 13 % структура відповідає твердому розчину міді та алюмінію. У сплавах з вмістом алюмінію більше 13 % і до 30 % структура відповідає двофазному сплаву, що складається з α -фази міді та β -фази Cu_3Al [14].

Система сплавів Cu-Al була досліджена в області всіх можливих концентрацій, а результати були представлені на подвійній діаграмі стану (рисунок 1.3). В точці евтектики, кількість рідкої фази досягає максимального значення – 8,5 мас.% Al. Перитектичні реакції відбуваються при температурах 1022 °C та 1036 °C. Фаза χ , яка існує тільки при високих температурах, таких як (963-1036) °C. Фаза β кристалізується з розплаву у формі кривої, максимум якої досягається при температурі 1048 °C і відповідає сплаву, що містить 12,4 мас.% Al. На рисунку 1.3 ми бачимо, що у твердому стані сплав пройшов кілька евтектоїдних та перитектоїдних перетворень. Фаза α розпадається при температурі 963 °C, а вміст Al в евтектоїдній точці становить 15,4 мас.%. Концентраційні межі області гомогенності фази α_2 не були точно встановлені. Присутність фази α_2 пояснює залежність питомої теплоємності від температури при значеннях 300 °C як в однофазних, так і в двофазних сплавах [14]. Фаза α представляє твердий розчин на основі Cu, який охоплює широкий діапазон складу (до 9 мас.% Al). При зниженні температури розчинність Al у Cu збільшується, і при температурі 1037 °C вона становить близько 7,4 мас.%

Мартенситне перетворення – це один із видів термічної обробки металів та сплавів, що полягає у зміні структури кристалічної ґратки в результаті швидкого охолодження з певної температури. У сплавах на основі Cu-Al мартенситне перетворення відбувається при охолодженні з високих температур, коли структура сплаву має кубічну ґратку з центрованим простором. Під час охолодження з цієї температури, кристалічна ґратка починає змінюватись і в результаті формується мартенситна структура [14].

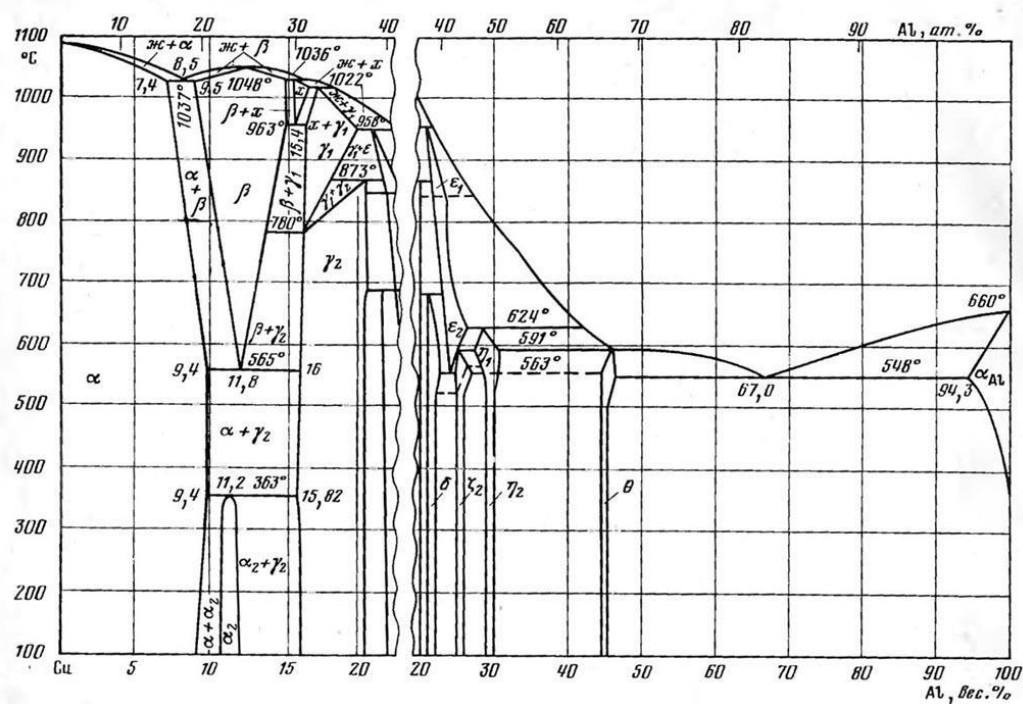


Рисунок 1.3 – Фазова діаграма стану системи Cu-Al [14]

Мартенситна структура сплаву на основі Cu-Al має характерні ознаки, такі як велика твердість та міцність, а також деякі еластичні властивості. Залежно від умов охолодження та хімічного складу сплаву, можуть утворюватись різні типи мартенситної структури, такі як тетрагональний, ромбічний та триклінний.

Структура цих сплавів залежить від концентрації компонентів. У мідно-багатих сплавах з концентрацією Al до 14 % структура є однорідною з високим вмістом розчиненого алюмінію. Збільшення концентрації Al веде до утворення перехідної зони з вузькими зонами зміни складу сплаву (рисунок 1.4). У сплавах з концентрацією Al більше 14 % можуть утворюватись фази високого вмісту алюмінію, які впливають на властивості матеріалу [15].

Мартенситне перетворення в сплавах на основі Cu-Al може відбуватися зі зміною температури або деформацією. В результаті мартенситного перетворення утворюється тверда та крихка структура, яка може бути змінена підвищенням температури [15].

Властивості сплавів на основі Cu-Al можуть бути налаштовані за допомогою додавання інших елементів, наприклад, нікелю, марганцю, цинку або

хрому. Додавання нікелю зменшує температуру мартенситного перетворення, що поліпшує технологічні властивості матеріалу. Марганець зменшує корозійну активність, а цинк і хром збільшують стійкість до корозії.

Узагальнюючи, сплави на основі Cu-Al мають високу міцність, твердість, термічну та корозійну стійкість, а їх структура та властивості можуть бути налаштовані за допомогою додавання інших елементів [15].

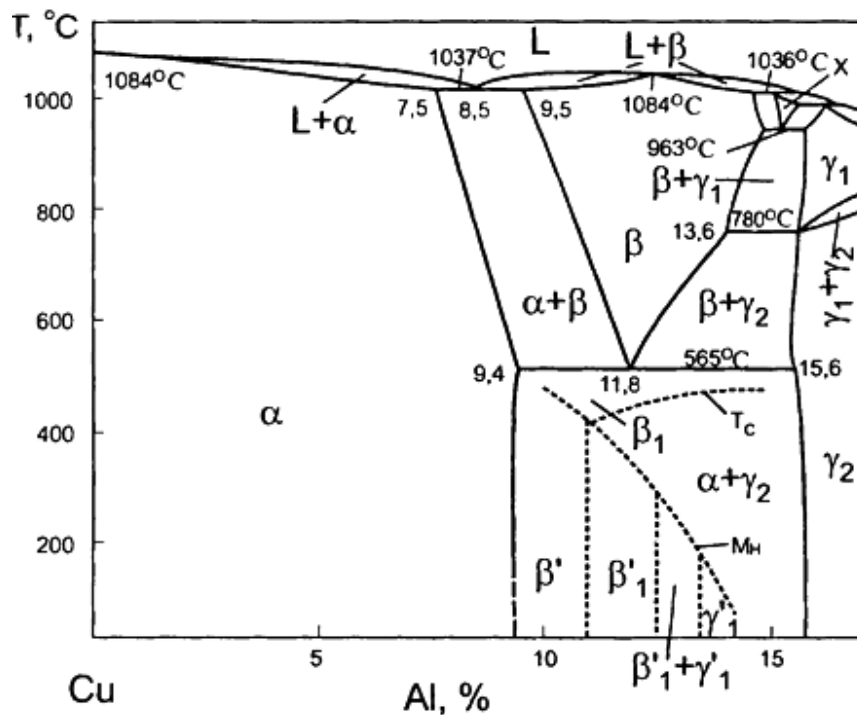


Рисунок 1.4 – Діаграма фазового стану Cu-Al до 17 % Al [15]

На діаграмі фазового стану Cu-Al можна виділити кілька зон, які відповідають різним фазовим структурам. Наприклад, при високих температурах сплав має кубічну об'ємцентровану ґратку (CuAl), яка переходить у кубічну гранецентровану ґратку (CuAl₂) при зниженні температури.

Мартенситне перетворення відбувається при швидкому охолодженні з високих температур в межах фазової зони β-фази (CuAl). Під час охолодження структура сплаву не має часу на зміну, тому вона "заморожується" в β-фазі. Однак, якщо швидкість охолодження достатньо велика, то може відбутися

мартенситне перетворення, яке в результаті призводить до утворення мартенситної структури.

Мартенситна структура відрізняється від β -фази тим, що має тетрагональну ґратку, змінену внаслідок деформації, а також має високі механічні властивості. За умови подальшої термічної обробки, мартенситна структура може перетворитися у більш стабільну β -фазу або у CuAl_2 [12].

1.4 Висновки до розділу 1

Проаналізувавши наукові джерела, стосовно впливу низькотемпературного старіння на структуру та протікання мартенситного перетворення у сплавах Cu-Al-Mn, можна зробити висновок про потенційну перспективність цих матеріалів у різних галузях. Низькотемпературне старіння впливає на структурні зміни в сплавах та змінює їх механічні властивості, зокрема мартенситне перетворення. Ці сплави можуть бути застосовані у виробництві акустичних і термічних сенсорів, актуаторів, а також у медицині та авіаційній промисловості, завдяки їхній пластичності та механічних властивостей, міцності і пластичності. Оптимізація виготовлення та обробки таких сплавів вимагає додаткових досліджень та вдосконалення, але це може сприяти розширенню їхнього застосування та розвитку нових технологій та матеріалів у майбутньому.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Матеріали дослідження

Досліджуваний сплав було обрано на основі міді, Cu-Al-Mn з низьким вмістом Mn. Отримали даний сплав методом спінінгування. Першим етапом процесу є підготовка сировинних матеріалів – чистих кускових або порошкових форм міді, алюмінію та марганцю. Ці компоненти зазвичай змішуються у правильних пропорціях, враховуючи вимоги до складу сплаву.

Після підготовки сировинних матеріалів вони розплавляються за допомогою високотемпературних плавильних печей або індукційних печей. Коли сплав досягає достатньої температури, його перекачують до форсунки або головки для подальшого процесу спінінгування.

Форсунка має мікроскопічні отвори, через які розплавлений сплав пропускається. Цей сплав потрапляє в зону швидкого охолодження, де відбувається формування волоконної структури. Швидке охолодження сприяє утворенню метастабільних станів [13], які можуть включати матрицю і виділені наночастинки, що залежать від хімічного складу сплаву та умов процесу.

Отримані стрічки сплаву Cu-Al-Mn збираються на приймальному пристрої, де вони формуються в бобіни або намотуються на бобіни для подальшого використання або подальшої обробки. Матеріал розплавляли у вакуумній індукційній печі. Шихту було підібрано так, щоб отримати склад $\text{Cu}_{70}\text{Al}_{25}\text{Mn}_5$, або 70 % Cu, 25 % Al, 5 % Mn (в ат.%). Після вакуумної індукційної печі, розплав вилили на поверхню мідного барабану, що обертається, з цілю швидкого охолодження. Таким чином, було отримано стрічку зі сплаву Cu-Al-Mn. Товщина стрічки складає 10 мкм. Зразок отримали в аморфному стані для кристалізації, потім нагрівали до 850 °C (для гомогенізації і кристалізації), витримували при цій температурі 15 хвилин (для утворення дрібнозернистої структури) і загартовували у воду від 850 °C, щоб зафіксувати високотемпературну β -фазу, а потім відпалювали з метою зістарити сплав при

$T = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом 12 годин у захисному середовищі (вакуумне масло). Саме такий склад був підібраний через β -фазу, яка дозволяє отримувати ефект пам'яті форми і надпружність. Ці характеристики роблять цей сплав важливим у багатьох галузях, включаючи авіаційну, автомобільну, електронну та машинобудівну промисловість [13]. Саме β -фаза забезпечує сплавам Cu-Al-Mn їхню особливу структуру, ефекти пам'яті форми і надпружності, а також здатність до мартенситного перетворення, які впливають на їхні механічні властивості.

2.2 Методи дослідження

2.2.1 Металографічний аналіз

Металографічний аналіз є методом, що дозволяє досліджувати мікроструктуру металів і сплавів. Він включає підготовку зразків, стадії полірування, травлення та дослідження зразка під мікроскопом. Цей аналіз допомагає визначити розмір, форму, розподіл та характеристики зерен, а також виявити дефекти, включення та інші структурні особливості матеріалу [16].

Основні етапи металографічного аналізу включають вибір зразка, монтування зразка, механічну підготовку, травлення, мікроскопічний аналіз та фотографування зразка. Розглянемо їх по порядку. Вибір зразка: зазвичай зразки вирізають з матеріалу у вигляді циліндрів або пластин, які потім готуються для подальшої обробки. Монтування зразка: зразок піддається різанню або розрізанню, щоб отримати зручні зразки для обробки. Цей етап виконується за допомогою різальних інструментів або шліфувальних дисків. Механічна підготовка: після монтажу зразок піддається механічній підготовці, щоб видалити шорсткість та інші деформації, які можуть виникнути під час монтажу. Це може включати грубе та дрібне полірування зразка. Етап травлення передбачає хімічну обробку зразка за допомогою травильних речовин або реактивних речовин, які взаємодіють з матеріалом і розкривають його мікроструктуру. Травлення може здійснюватися шляхом занурення зразка у

розчин або нанесення розчину на поверхню зразка. Цей процес поліпшує видимість мікроструктури та відрізняє різні фази матеріалу. Мікроскопічний аналіз. Зразок досліджується під мікроскопом для вивчення його мікроструктури. Оптичний мікроскоп може використовуватися для оцінки розміру і форми зерен, наявності дефектів, включень, порожнин та інших структурних особливостей. Електронні мікроскопи, такі як скануючий електронний мікроскоп (СЕМ) або трансмісійний електронний мікроскоп (ТЕМ), можуть використовуватися для отримання більш детальних зображень мікроструктури [16].

Важливість металографічного аналізу полягає в його здатності розуміти взаємозв'язок між мікроструктурою та властивостями матеріалу. Це грає ключову роль для розробки нових матеріалів, визначення оптимальних умов обробки та термічної обробки та виявлення причин деформації або втрати властивостей. Металографічний аналіз є важливим кроком у дослідженні та вдосконаленні металів і сплавів для різних промислових застосувань [16].

Скануючий електронний мікроскоп (СЕМ), – це потужний інструмент для дослідження структури та морфології різних матеріалів на нанометровому рівні. Скануючий електронний мікроскоп на якому проводилися дослідження зображено на рисунку 2.1. Принцип роботи СЕМ базується на використанні пучка електронів замість світла, як це відбувається в оптичних мікроскопах.

Основні компоненти СЕМ включають електронно-променеву колону, детектори сигналу та систему візуалізації, генерація електронного променя формування та фокусування пучка. Утворення зображення. Сканування поверхні. Процес роботи скануючої електронної мікроскопії (СЕМ) можна спростити до кількох кроків. Електрони генеруються електронною пушкою, використовуючи нагрівальний катод.



Рисунок 2.1 – Скануючий електронний мікроскоп Hitachi TM3000

Ці електрони прискорюються анодами, утворюючи високоенергетичний пучок. Детектори СЕМ реєструють сигнали, що виникають при взаємодії пучка електронів зразка, включаючи вторинні електрони, відбиті електрони та рентгенівське випромінювання. Отримані сигнали передаються до системи візуалізації для створення чіткого зображення з високою роздільною здатністю. Сканування поверхні зразка здійснюється пучком електронів, і отримані сигнали використовуються для створення високороздільних зображень зразка. Завдяки цим крокам, СЕМ дозволяє отримувати детальні зображення поверхні матеріалів з високою роздільною здатністю, а також досліджувати їхню структуру, морфологію та хімічний склад. Цей метод знаходить широке застосування в науці, промисловості та інженерії для дослідження матеріалів, виготовлення наноструктур, контролю якості та багатьох інших областей.

2.2.2 Хімічний аналіз

Хімічний аналіз в металургії є процесом визначення хімічного складу металевих матеріалів і сплавів. Це важлива стадія виробничого контролю, дослідження та якості готової продукції в металургійній промисловості [17]. Збір проби: перший крок - збір матеріалу для аналізу з різних джерел.

Підготовка проби: подрібнення та очищення від забруднень.

Визначення хімічного складу: застосовуються методи спектрального аналізу, хроматографії тощо. У даній дослідницькій роботі використовувався метод енергодисперсійної спектроскопії.

Інтерпретація результатів: порівнюються зі стандартами і специфікаціями.

Контроль якості: використовується для перевірки відповідності стандартам і виявлення відхилень [17].

Узагальнюючи, хімічний аналіз в металургії дозволяє визначити хімічний склад металевих матеріалів та сплавів, контролювати якість продукції, виявляти відхилення та забезпечувати відповідність вимогам і стандартам. Це важливий інструмент для забезпечення якості та безпеки в металургійній промисловості [17].

Енергодисперсійна спектроскопія (ЕДС) – це метод аналізу матеріалів, що використовується для визначення елементного складу проби та концентрацій різних хімічних елементів у ній.

Принцип ЕДС полягає в наступному: електронні промені проходять через пробу, при цьому вони взаємодіють з атомами матеріалу. При взаємодії електронного випромінювання з атомами в матеріалі відбувається ефект випромінювання, коли атоми випромінюють власне рентгенівське випромінювання. Випромінювання, що виникає внаслідок виділення, має спектр, який містить інформацію про хімічний склад проби. Для отримання спектра випромінювання використовується детектор, який реєструє енергію рентгенівського випромінювання. Цей детектор може бути розташований в різних положеннях відносно проби, що дозволяє отримувати інформацію про енергетичний спектр виділення з різних кутів [18].

Енергодисперсійна спектроскопія дозволяє визначити елементний склад проби шляхом аналізу енергетичного спектра рентгенівського променя. Кожен хімічний елемент має характеристичні лінії в спектрі, що відповідають його унікальним енергіям. Шляхом аналізу цих ліній можна визначити, які елементи присутні в пробі та їх концентрації [18]. Дослідження структури та визначення хімічного складу проводили за допомогою скануючого електронного мікроскопа HITACHI-TM3000, рисунок 2.1 при таких умовах: thermionic-type, напруга: 5 кВ або 15 кВ збільшення: 15х – 30 000х: Bruker Quantax 70 EDS (Роздільна здатність: 135 eV,)

2.2.3 Рентгеноструктурний фазовий аналіз

Рентгеноструктурний фазовий аналіз (XRD) – це метод, який використовується для вивчення кристалічної структури матеріалів. Він базується на принципі дифракції рентгенівського випромінювання на атомах у кристалічній решітці матеріалу.

У рентгеноструктурному фазовому аналізі використовують рентгенівські промені, які падають на зразок матеріалу. При зіткненні з атомами у кристалічній решітці, рентгенівське випромінювання дифрагується, тобто змінює напрямок свого руху. Це дифраговане випромінювання збирається за допомогою детектора, і отримані дані використовуються для визначення розташування атомів у кристалічній решітці та для отримання інформації про фазовий склад матеріалу [19].

Результатом рентгеноструктурного фазового аналізу є рентгенограма або дифрактограма, яка представляє собою графік, що відображає інтенсивність дифрагованого рентгенівського випромінювання в залежності від його кута дифракції. Ці дані можуть бути використані для визначення кристалічних фаз, присутніх у зразку, та для визначення параметрів кристалічної решітки, таких як міжплощинні відстані та кут нахилу [19].

Принцип дифракції рентгенівського випромінювання у кристалі полягає в підпорядкуванні закону Вульфа-Брегга (2.1), що визначає напрямки максимумів

дифракції рентгенівського випромінювання, що пружно розсіюється на кристалі [19]. Згідно з рівнянням Вульфа-Брегга, довжина хвилі рентгенівського випромінювання (λ), міжплощинна відстань (d) та кут дифракції (θ) пов'язані з відношенням n у порядку дифракційного максимуму:

$$n\lambda = 2d \sin\theta, \quad (2.1)$$

де n – порядок відбиття;

λ – довжина хвилі рентгенівського випромінювання;

d – міжплощинна відстань;

θ – дифракції.

Для виконання дифрактограми зразка, вимірювання, реєстрації та відображення змін інтенсивності дифрагованого рентгенівського випромінювання залежить від кута обертання об'єкта дослідження. Це дозволяє отримати інформацію про структуру кристалічних зразків, включаючи параметри решітки та виявлення дефектів. Аналізуючи положення та інтенсивність піків на дифрактограмі, можна провести кількісний та якісний фазовий аналіз, визначити розміри частинок та ступінь кристалічності [19].

Досліди структури зразка та фазовий аналіз проводились на дифрактометрі Bruker D8 Advance, рисунок 2.2. Він має такі особливості як високороздільний детектор LYNXEYE-XE T, для розбірливого виявлення випромінювання та флуоресценції міді $K\beta$ від зразків, що містять залізо, марганець, кобальт та інше.

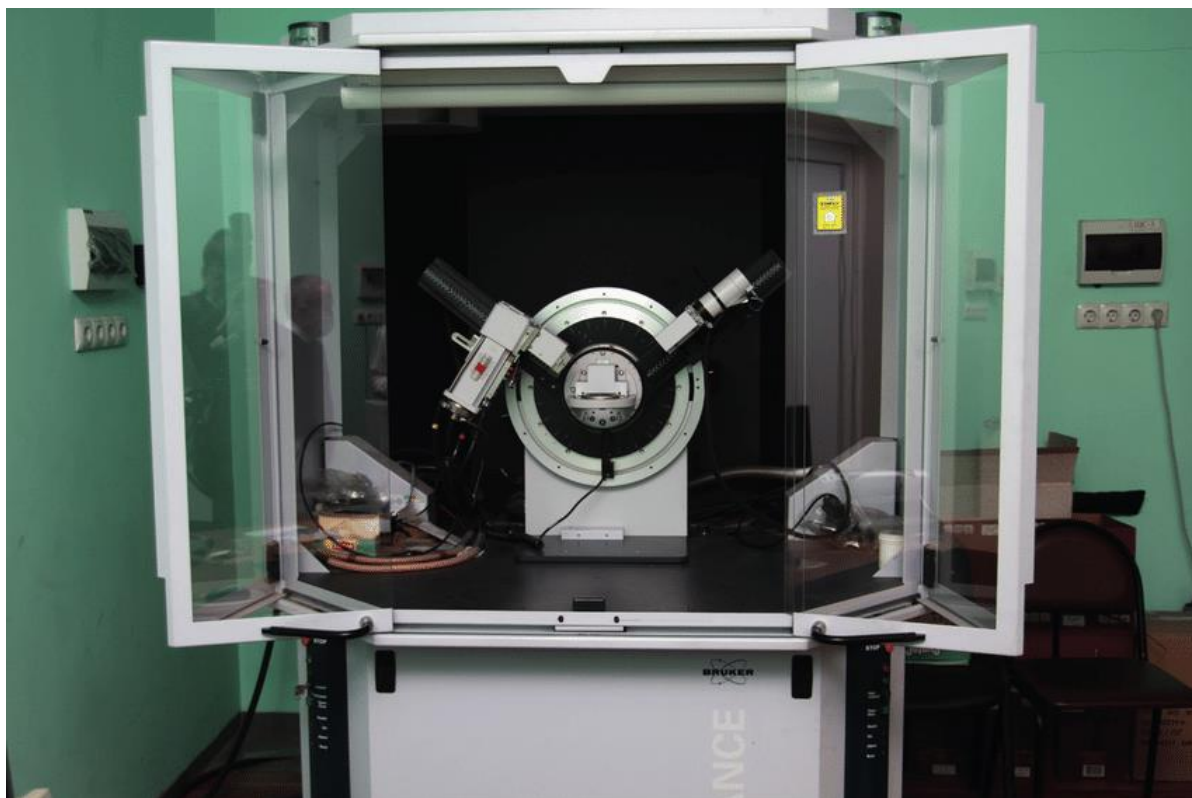


Рисунок 2.2 – Дифрактометр Bruker D8 Advance

Геометрія відбиття (Брегга-Брентано). Підставка з нульовим фоном на основі кремнієвої пластини для використання в геометрії відбиття. Геометрія трансмісії для зразків, розміщених між плівками. Вимірювання у капілярах з використанням фокусуючого дзеркала Гебеля ($\text{Cu}_{K\alpha 1,2}$) або монохроматора ($\text{Cu}_{K\alpha 1}$). Автоматичний механізм пересування зразків з 30 позиціями для ефективних вимірювань

Фокусування по Бреггу-Брентано є методом, який дозволяє досягнути точного спрямування рентгенівського променя на зразок у рентгенівській дифрактометрії. Цей метод використовується для отримання максимальної дифракційної інтенсивності та покращення якості отримуваних дифрактограм.

Основна схема фокусування по Бреггу-Брентано складається з вихідного джерела рентгенівського випромінювання, монохроматора, гоніометра, детектора, зразка та комп'ютерної системи з програмним забезпеченням. Джерело генерує рентгенівські промені, які проходять через монохроматор, що відбирає монохроматичний промінь. Гоніометр налаштовує кути нахилу

кристалів для оптимальної дифракції. Детектор реєструє розсіяні промені, які відбиваються від зразка. Зразок обертається під певним кутом, а комп'ютерна система обробляє дані та аналізує дифрактограми для визначення структури [19].

У даній науково-дослідницькій роботі було використано метод фазового рентгеноструктурного аналізу. Даний метод ґрунтується на взаємодії монохроматичного рентгенівського випромінювання з кристалом. Основна ідея полягає в тому, що рентгенівські промені, пройшовши через кристал, розсіюються під певними кутами, що залежать від розмірів та орієнтації атомів у кристалі. Ці розсіяні промені формують дифракційні картини, які можна зняти за допомогою детектора. Аналізуючи ці дифрактограми, можна визначити точну структуру кристалу, включаючи положення атомів та їхні зв'язки. Цей метод дозволяє отримувати детальну інформацію про атомну або молекулярну організацію кристалу, що є важливим для розуміння фізичних та хімічних властивостей матеріалу та впливає на розробку нових матеріалів з певними характеристиками [18]. Проводився якісний і кількісний фазовий аналіз.

2.3 Висновки до розділу 2

Досліджуваний сплав було обрано на основі міді, Cu-Al-Mn з низьким вмістом Mn. Отримали даний сплав методом спінінгування. Склад цього сплаву був підібраним таким чином, щоб отримати β -фазу згідно діаграми стану, бо вона (β -фаза) зазнає мартенситне перетворення, при охолодженні і проявляє властивості пам'яті форми, має впорядковану структуру. Підвищення концентрації Mn призвело до втрати функціональних властивостей і втрати β -фази. Вибрані методи досліджень зразків для аналізу включають, металографічний, енергодисперсійний спектроскопічний та рентгенофазовий аналізи.

З РЕЗУЛЬТАТИ І ОБГОВОРЕННЯ

3.1 Хімічний склад сплаву Cu-Al-Mn і температура протікання мартенситного перетворення

Охолоджували сплав загартовуванням у воді, таким чином отримали твердий розчин β -фази. Потім етап старіння, при якому виділяється феромагнітні частинки Cu_2AlMn . Хімічний склад було досліджено методом ЕДС. Отримані дані наведено в табл. 3.1– 3.4

Таблиця 3.1 – Хімічний склад сплаву Cu-Al-Mn після загартовування

Хімічний елемент	Масова частка, %	Атомна частка, %	Похибка, %
Cu	83,0	71,7	2,1
Al	11,9	23,3	2,0
Mn	4,9	4,9	0,1

Таблиця 3.2 – Хімічний склад сплаву Cu-Al-Mn після загартовування та старіння при $T = 200^\circ\text{C}$ протягом 12 годин

Хімічний елемент	Масова частка, %	Атомна частка, %	Похибка, %
Cu	82,2	70,5	1,1
Al	11,9	24,4	1,0
Mn	4,9	4,9	0,2

Таблиця 3.3 – Хімічний склад зворотної сторони сплаву Cu-Al-Mn після загартовування та старіння при $T = 200^\circ\text{C}$ протягом 12 годин

Хімічний елемент	Масова частка, %	Атомна частка, %	Похибка, %
Cu	82,4	69,9	0,6
Al	12,5	25,1	0,7
Mn	4,9	4,8	0,1

Таблиця 3.4 – Хімічний склад сплаву Cu-Al-Mn після загартовування з підвищеним вмістом Mn

Хімічний елемент	Масова частка, %	Атомна частка, %	Похибка, %
Cu	76,9	65,9	1,5
Al	12,1	22,0	1,5
Mn	10,9	12,0	0,2

При даному методі отримані сплави, результатом є висока гомогенність, однорідність хімічного сплаву і після термічної обробки сплав майже не відрізняється. Ми ретельно досліджували концентрацію, а саме як вона змінюється у зразку. Орієнтуємось на технологію виробництва, для даного сплаву відхилення в (1-2) % нас задовольняє. Дане відхилення присутнє через технологію отримання. Зразок було охолоджено до температур рідкого азоту, мартенситне перетворення не спостерігалось.

Після старіння у даному сплаві утворюються нанорозмірні негомогенності (сполука Гейслера). Границі розділу між частинками і матрицею нема. Тобто структура однакова, а параметри відрізняються і вони плавно змінюються. Через це температура протікання мартенситного й аустенітного перетворень зросла, дивись табл. 3.5 та рисунок 3.1, бо рівномірно розчинений Mn приєднався до сполуки Гейслера Cu_2AlMn .

Таблиця 3.5 – температура протікання мартенситного та аустенітного перетворень.

Фазове перетворення Термічна обробка	M_s °C	M_f °C	A_s °C	A_f °C
До старіння	-55	-95	-34	-2
Після старіння	-21	-63	-5	14

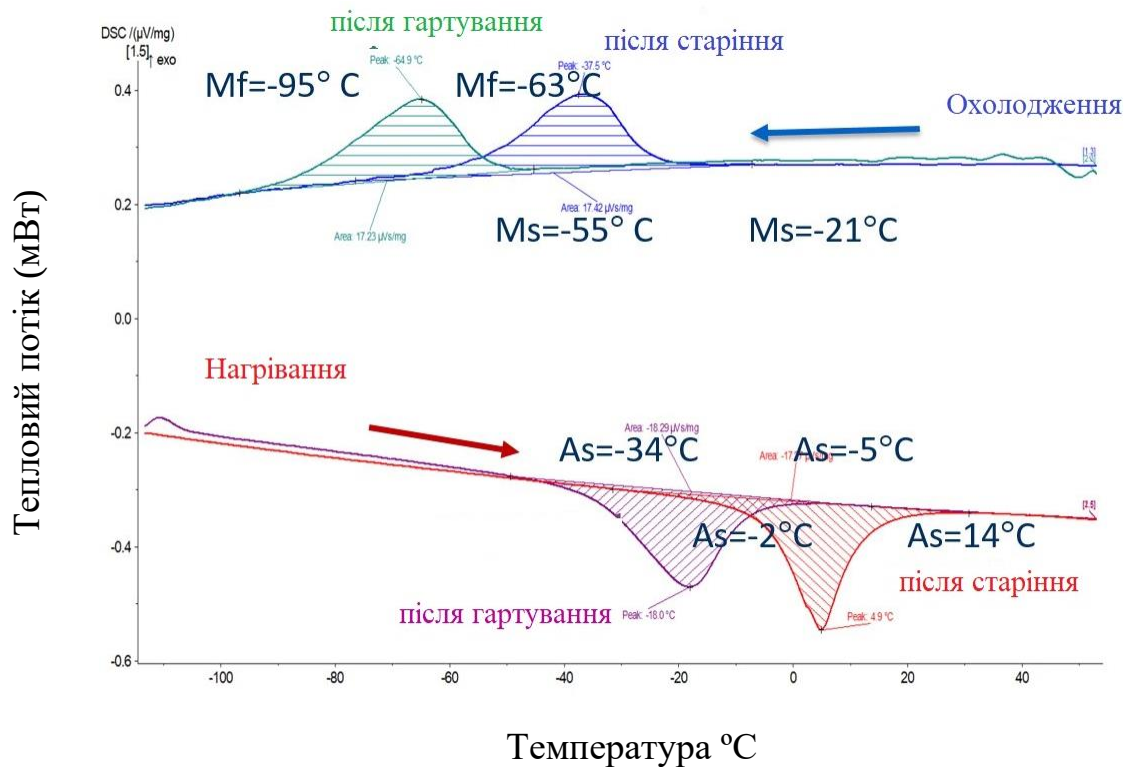


Рисунок 3.1 – Графік залежності теплового потоку від температури

3.2 Мікроструктура поверхні сплаву Cu-Al-Mn

Для отримання зображень мікроструктур використовували прилад Hitachi TM3000 Tabletop Scanning Electron Microscope. На рисунку 3.2 представлена структура зразку ($\text{Cu}_{70,59}\text{Al}_{24,41}\text{Mn}_{4,99}$) після процесу загартування при збільшенні у 1500 разів. Хімічний склад цього зразку можна знайти в табл. 3.2. Після загартування сплав має однофазну структуру, включаючи Mn та Al, розчинені в Cu з кубічною гранецентрованою (ГЦК) ґратці, а також гомогенну високотемпературну β -фазу, рисунок 3.3. Передбачаємо, що структура аустенітна, бо голок мартенситу не видно, це доводиться рентгенофазовим аналізом.

Висока гомогенність за хімічним складом, бо з двох сторін результати не відрізняються. Також підвищення концентрація Mn до 10% призводить до зникнення мартенситного перетворення та властивості пам'яті форми, табл. 3.4.

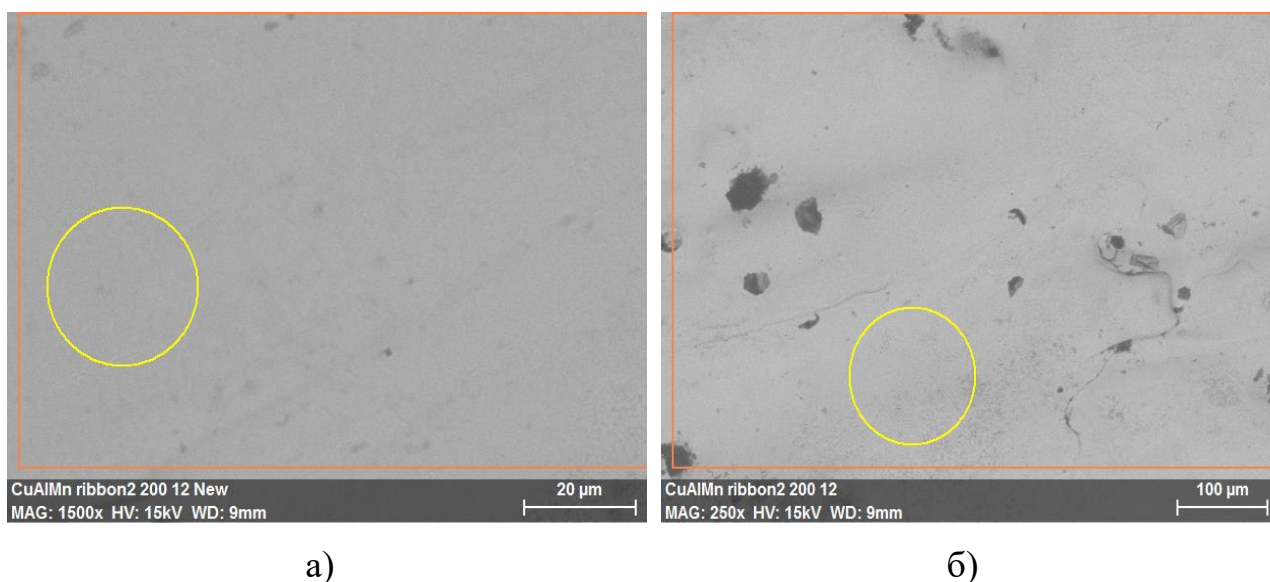


Рисунок 3.2 – Мікроструктура зразка після загартування та старіння

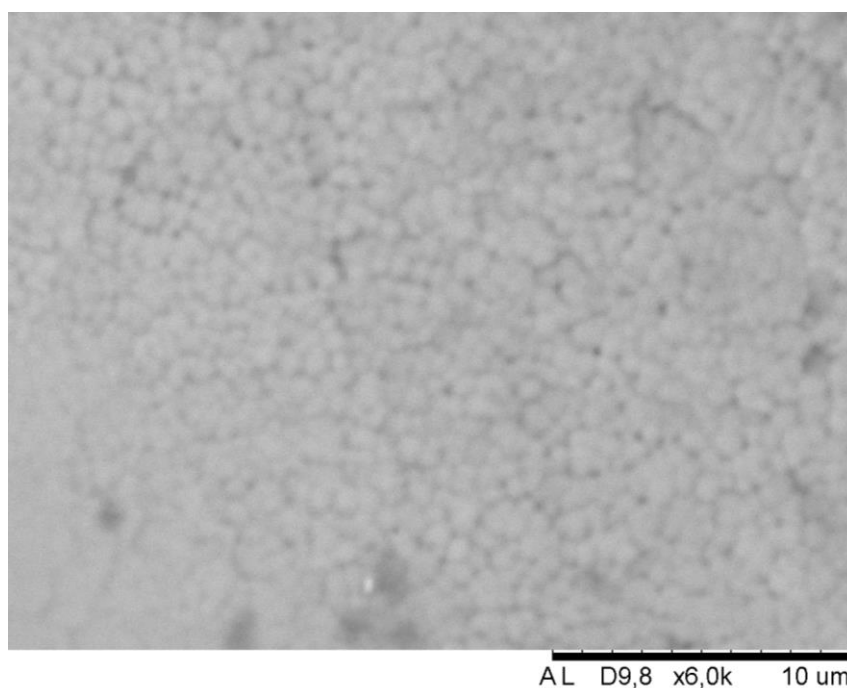


Рисунок 3.3 – Мікроструктура зразка після старіння, збільшення у 6000 разів

На рисунку 3.2 ми можемо спостерігати поверхню сплаву $\text{Cu}_{70,59}\text{Al}_{24,41}\text{Mn}_{4,99}$, структура має вигляд аустеніту, зерен мартенситу немає, структура є нанодисперсна. При збільшенні у 250 разів видно чорні плями забруднення. Вони могли виникнути в результаті контакту із забрудненою поверхнею. На рисунку 3.4 зображено розподілення хімічних елементів на поверхні зразка. У лівому верхньому кутку є три чорні плями, їх колір викриває

те, що це плями забруднення. Плями забруднення утворюються через не якісну підготовку зразка чи необережне використання. Також на малюнку видно, що β -фаза – гомогенна.

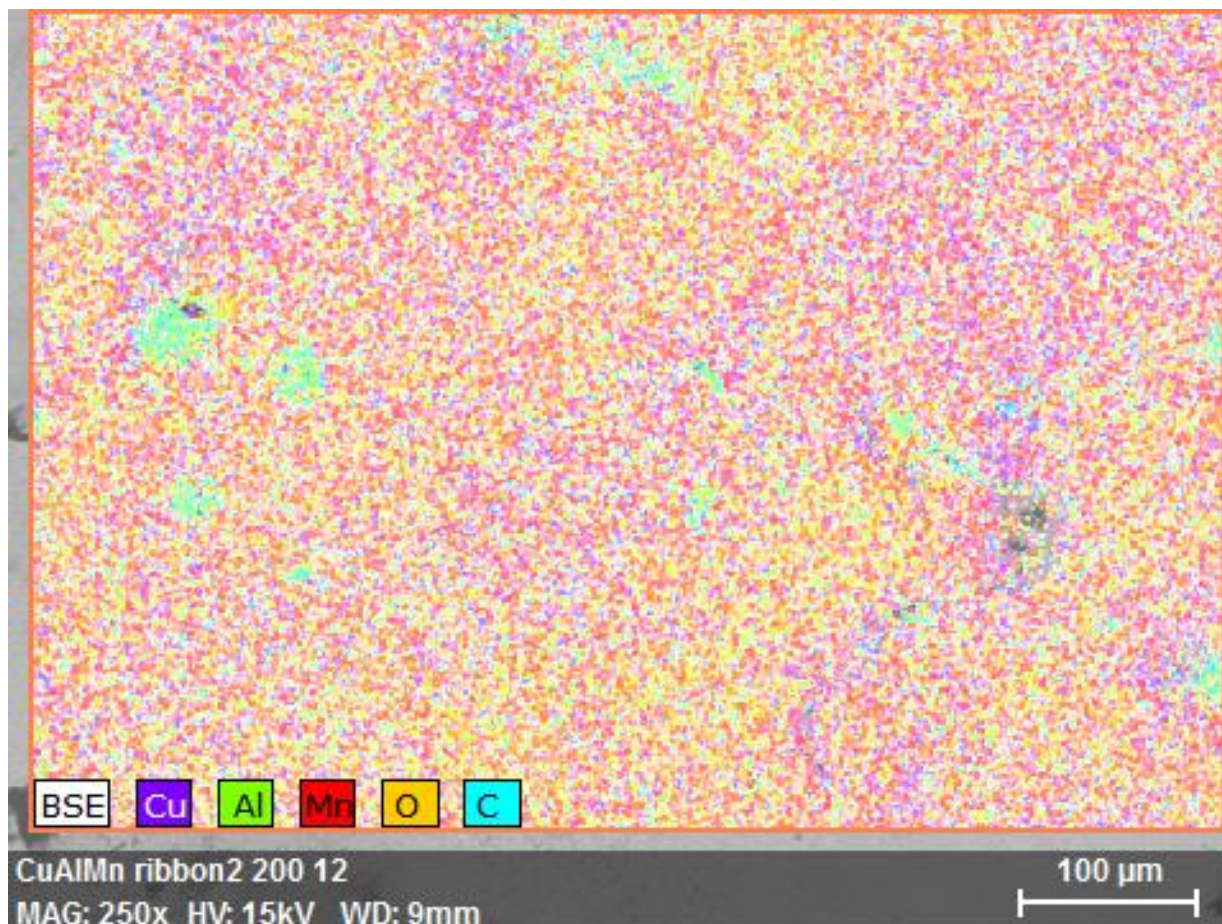


Рисунок 3.4 – Карта розподілення елементів Cu-Al-Mn

3.3 Фазовий склад сплавів на основі Cu

В сплавах на основі Cu з пам'яттю форми найважливішими фазами, які впливають на ефект пам'яті форми, є фази β_2 (DO3) та β_1 (B19').

Фаза β_2 (DO3), також відома як фаза DO3, є структурою типу L2. Вона складається з міді (Cu), алюмінію (Al) та марганцю (Mn). У фазі β_2 атоми утворюють кубічну компактну структуру (ГЦК) [12]. Ця фаза відіграє важливу

роль у забезпеченні ефекту пам'яті форми, оскільки зміна її структури може призводити до зміни форми сплаву при термічному відновленні.

Фаза β_1 (B19') відома також як фаза B19', є забороненою структурою типу тетрагональної симетрії. Вона зазвичай формується внаслідок відпалу після деформації сплаву. Фаза β_1 забезпечує ефект пам'яті форми шляхом стабілізації доменних структур та збереження деформованої форми сплаву до активації пам'яті форми при певних умовах [13].

Мікроструктура цих фаз включає гранули, доменну структуру, межі зерен та можливість утворення дислокацій, дефектів та включень. Особливості розташування та взаємодії цих структурних елементів впливають на механізми пам'яті форми в сплаві.

Параметри ґратки елементарної комірки утворених фаз після старіння наступні: для β -фази – 5,863 Cu₃Al – 5,840 Å, для Cu₂AlMn – 5,908 Å.

На рисунку 3.5 показано дифрактограму зразка Cu_{70,59}Al_{24,41}Mn_{4,99}, який був загартований у воду. На ньому можна спостерігати наявність високотемпературного стану – аустенітної β -фази, змішаного твердого розчину Mn та Al у кубічній структурі Cu. При охолодженні до 300 °C і нижче відбувається впорядкування β -фази, що призводить до формування Cu₃Al β_1 -фази кубічної структури типу DO3 [12]. На рисунку 3.6 показано дифрактограму зразка після старіння, де видно розкладання вихідної фази на Cu₂AlMn (сплав Гейслера) та Cu₃Al. На рисунках 3.7 та 3.8 показано повний вид дифрактограм для порівняння, до старіння, рисунок 3.7, і після старіння, рисунок 3.8.

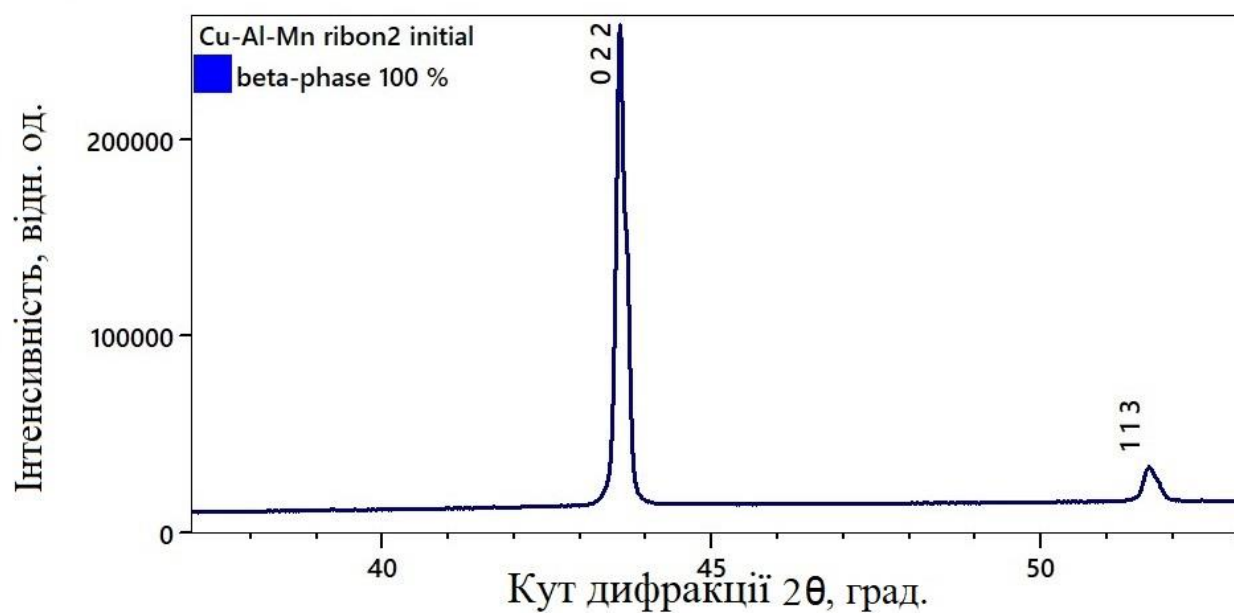


Рисунок 3.5 – Дифрактограма зразка в діапазоні від 38° до 54° , отримана до старіння.

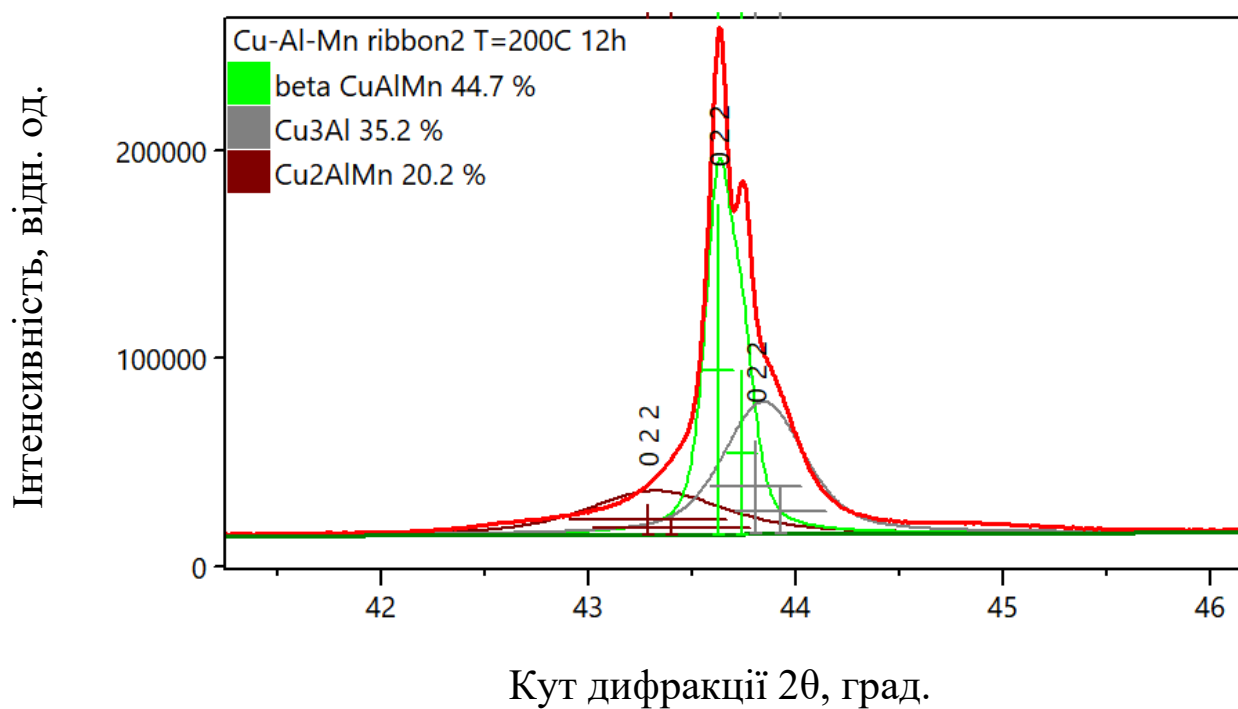


Рисунок 3.6 - Дифрактограма зразка в діапазоні від 41° до 46° , отримана після старіння

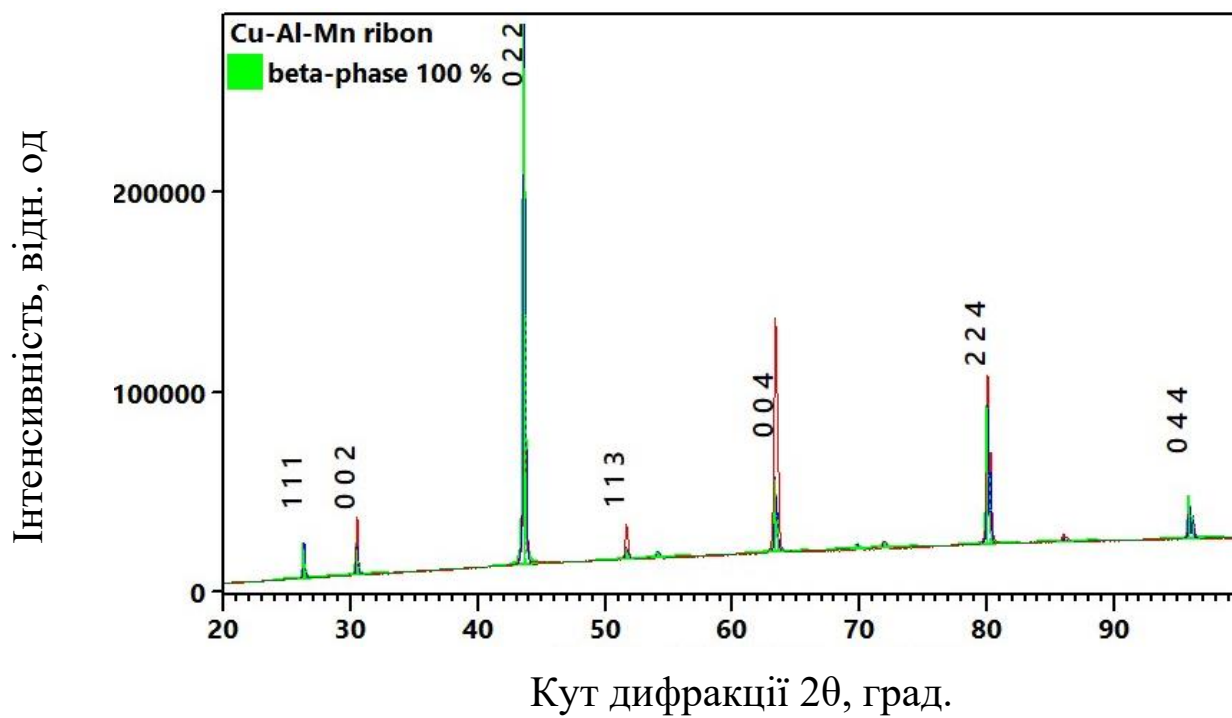


Рисунок 3.7 – Дифрактограма зразка отримана до старіння

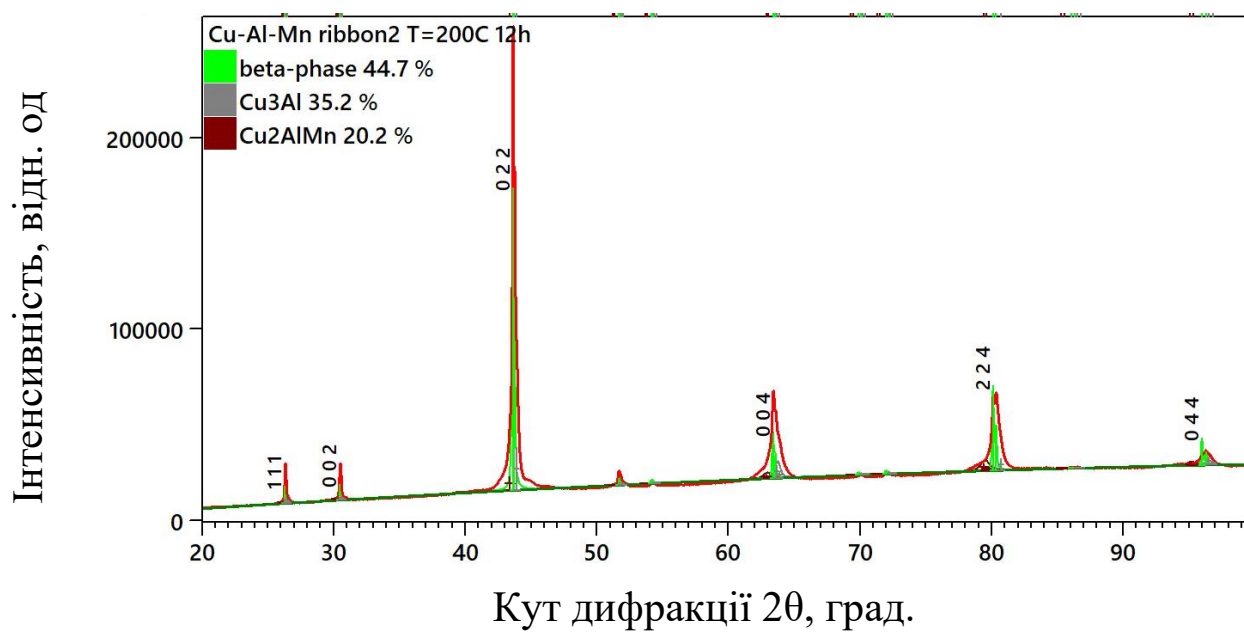


Рисунок 3.8 – Дифрактограма зразка отримана після старіння

3.4 Висновки до розділу 3

1. В роботі досліджено структуру та хімічний склад сплаву на основі Cu-Al-Mn методом скануючої електронної мікроскопії. Зразок було зістарено при температурі 200 °C протягом 12 годин.

2. Встановлено, що старіння сплаву Cu-Al-Mn при температурі 200 °C протягом 12 годин викликає розпад вихідної фази і формування нових фаз Cu_3Al та Cu_2AlMn

3. Досліджено, вплив термічної обробки на мікроструктуру, хімічний та фазовий склад, а також температуру протікання мартенситного перетворення. Кількість Mn у сплаві впливає на його функціональні властивості, через обмеженість β -фази. За даними ДСК (диференційної скануючої калориметрії) визначено, що кількість Mn впливає на температуру протікання мартенситного перетворення. З підвищенням Mn до 10 % мартенситне перетворення не спостерігається.

4. Згідно рентгеноструктурного аналізу встановлено, що відпал при температурі 200 градусів протягом 12 годин призводить до розпаду пересиченого твердого розчину з утворенням нанодисперсної феромагнітої фази. За результатами ЕДС (енергодисперсійної спектроскопії) встановлено, що після загартування і старіння, Mn і Al рівномірно розподілені, що свідчить про високу гомогенність. Внаслідок термічної обробки і старіння, усереднена концентрація не змінилась, через те що розмір зонда (проби) значно перевищує розмір наночастинок.

4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Науково-технічна актуальність теми дослідження

Розробка інтелектуальних матеріалів є дуже перспективною галуззю в сучасному матеріалознавстві. Ці матеріали володіють фізико-хімічними та фізико-механічними властивостями, які можуть змінюватися під впливом різних факторів, таких як тиск, механічна деформація, температура, магнітне та електричне поле та інші. Один з цих матеріалів - сплави з пам'яттю форми, які здатні повністю або частково відновлювати свою форму після деформації завдяки своїм властивостям. Зараз такі матеріали є предметом активних досліджень в галузі матеріалознавства [1]. Ці сплави з пам'яттю форм мають великий потенціал застосування в різних галузях, таких як медицина, автомобільна та аерокосмічна промисловість, електроніка, будівництво та інші.

Обрання міді як основного матеріалу для дослідження таких сплавів обумовлене її доступністю та широким використанням у багатьох галузях. У порівнянні з більш популярними сплавами на основі титану, мідь є більш доступним металом, і завдяки своїм властивостям надпружності та мартенситного перетворення такі сплави мають не гірші характеристики пам'яті форми.

4.1.1 Мета і завдання НДР

Ця робота проводиться з метою дослідження мартенситного перетворення, а також впливу низькотемпературного старіння на температуру фазового мартенситного перетворення. Також важливо розглянути перспективність даних функціональних матеріалів на основі міді.

Щоб досягнути поставлену мету, потрібно вирішити такі завдання:

1) ознайомлення з науковими джерелами в галузі досліджень та пов'язаними темами;

- 2) розробка методики для якісного проведення досліджень в даній області;
- 3) виготовлення зразків для досліджень, включаючи вибір хімічного складу та методу виготовлення;
- 4) підготовка зразків для досліджень шляхом створення мікрошліфів;
- 5) аналіз структури зразків за допомогою металографічного та хімічного аналізів;
- 6) вивчення фазового складу зразків за допомогою рентгенофазового аналізу;
- 7) обробка отриманих результатів досліджень.

4.2 Розрахунок планових витрат на проведення НДР

Для визначення планової кошторисної вартості даної роботи необхідно оцінити всі витрати, які виникають під час виконання науково-дослідних робіт. Розрахунок планової кошторисної вартості НДР здійснюється відповідно до калькуляційних статей витрат:

- 1) витрати на оплату праці;
- 2) визначення розміру єдиного соціального внеску;
- 3) витрати на матеріали необхідні для проведення досліджень;
- 4) витрати на спеціальне обладнання;
- 5) вартість послуг сторонніх організацій;
- 6) витрати на службові відрядження;
- 7) інші непрямі витрати;
- 8) накладні витрати;
- 9) калькуляції планової кошторисної вартості теми.

4.2.1 Витрати на оплату праці

Для розрахунку заробітної плати науково-технічного персоналу необхідно мати інформацію про трудомісткість роботи виконавців та їх денну заробітну

плату. У цьому дослідженні було залучено трьох виконавців: старшого наукового співробітника, інженера-дослідника та техніка.

У випадку відсутності розрахункових методик трудомісткості для різних етапів дослідження, оцінку трудомісткості можна встановити за допомогою експертних оцінок, які розраховують провідні фахівці. Дані оцінки трудомісткості етапів НДР можна знайти у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Трудомісткість етапів виконання НДР

Етапи проведення НДР	Доцент	Інженер – дослідник	Технік
1. Аналіз та опрацювання літератури з теми	8	13	-
2. Підготовка зразків для досліджень	5	5	2
3. Розробка методики досліджень	2	2	-
4. Проведення металографічного аналізу	2	4	6
5. Проведення хімічного аналізу	3	3	2
6. Проведення рентгенофазового аналізу	2	3	3
7. Опрацювання отриманих результатів та написання висновків	5	5	-
Висновки	27	35	13

Заробітна плата та підсумована планова трудомісткість усіх виконавців наведена у таблиці 4.2. Інформацію про заробітну плату кожного з працівників, залежно від посади, було взято із “Штатного розпису” для Національного технічного університету України «Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського» від 01.12.2022.

Для кожного виконавця досліджень денна заробітна плата визначається як місячна заробітна плата, розділена на 21,2. Цей коефіцієнт 21,2 визначений

експертами як середня кількість робочих днів за місяць при п'ятиденному робочому тижні.

Загальна сума заробітної плати всіх виконавців обчислюється шляхом додавання добутків трудомісткості і денної заробітної плати кожного з них.

Таблиця 4.2 – Розрахунок витрат на оплату праці

Посада	Планова трудомісткі сть люд- днів	Посадовий місячний оклад, грн	Денна зарплата, грн	Усього за виконавця, грн
Доцент	27	20876,34	984,73	26587,71
Інженер – дослідник	35	8921	420,8	14728
Технік	13	8554	403,5	5245,5
Разом оплата праці				46561,21

Враховуючи складність виконання завдання кожним з учасників та їхню винагороду за працю, було отримано загальний бюджет для оплати праці в рамках поточних досліджень. Фонд заробітної плати (ФЗП) даної науково-дослідної роботи, становить 46561,21 грн.

4.2.2 Визначення розміру єдиного соціального внеску

Єдиний соціальний внесок (ЄСВ) є обов'язковим відрахуванням на загальнодержавне соціальне страхування. Згідно законодавства з 1 січня 2018 р. ставка ЄСВ складає 22 % від заробітної плати:

$$\text{ЄСВ} = 46561,21 \times 0,22 = 10243,46 \text{ грн}$$

4.2.3 Матеріали необхідні для проведення досліджень

Підрахунок матеріалів відбувався спираючись на вартість та необхідну кількість, що було використано в ході проведення дослідження досліджень. Усі дані про матеріали, їх кількість та ціну, можна побачити у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Розрахунок вартості основних матеріалів

Найменування матеріалу	Одиниці вимірювання	Кількість	Ринкова ціна за одиницю, грн	Сума, грн
Мідь високої чистоти	кг	0,350	3000	1050
Алюміній високої чистоти	кг	0,045	150	6,75
Манган високої чистоти	кг	0,02	4200	84
Загальні витрати				1140,75

Транспортно-заготівельні витрати (T_B) були прийняті у розмірі 10 % від загальної вартості усіх матеріалів:

$$T_B = 1140,75 \times 0,1 = 114,07 \text{ грн}$$

Повна сума витрат на матеріали та їх перевезення (V_M) складає:

$$V_M = 1140,75 + 114,07 = 1254,82 \text{ грн}$$

4.2.4 Витрати на спеціальне обладнання

Усі попередні дослідження, які передували науково-дослідній роботі (НДР), були проведені з використанням наявного обладнання, що знаходиться у лабораторіях КПІ ім. Ігоря Сікорського. Тому не було потреби витратити кошти на спеціальне обладнання для здійснення даної НДР.

4.2.5 Вартість обслуговування сторонніми організаціями

В процесі виконання науково-дослідної роботи (НДР) не залучалося жодних сторонніх організацій, тому витрати на їхні послуги відсутні. Всі етапи дослідження були здійснені внутрішнім персоналом або за допомогою внутрішніх ресурсів, без необхідності залучення зовнішніх підрядників або спеціалістів.

4.2.6 Підрахунок витрат на службові відрядження

Усі роботи з виконання НДР проводились в межах «Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського». Ніхто із виконавців роботи не був у відрядженні, тому витрати відсутні.

4.2.7 Інші прямі невраховані витрати по темі

Під час проведення роботи інші прямі витрати (Ів) рахуються за 10 % від врахованих при виконанні НДР:

$$I_v = (46561,21 + 10243,46 + 1254,82) \times 0,1 = 5805,94 \text{ грн}$$

4.2.8 Накладні витрати

Накладні витрати включають в себе різні види витрат, які пов'язані з управлінням виконавцем дослідження. Ці витрати охоплюють зарплати персоналу, який займається керівництвом проектом, витрати на винахідництво і раціоналізацію, витрати на науково-технічну інформацію, витрати на забезпечення нормальних умов праці і охорону праці, витрати на оплату послуг банків, а також включають податки, збори та інші обов'язкові платежі і витрати, необхідні для забезпечення нормального функціонування проекту.

Норматив відрахувань на накладні витрати (Нв) встановлений в 20 % від суми прямих витрат:

$$H_v = (46561,21 + 10243,46 + 1254,82 + 5805,94) \times 0,2 = 12773,08 \text{ грн}$$

4.2.9 Розроблення планової калькуляції кошторисної вартості теми

Планова кошторисна вартість проведених досліджень визначається шляхом сумування витрат за різними категоріями вартості. Розрахунки вартості можна побачити у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Планова калькуляція кошторисної вартості НДР

Найменування статей витрат	Сума, грн	Обґрунтування
1.Витрати на оплату праці	46561,21	Відповідно до розрахунків
2.Єдиний соціальний внесок	10243,46	22,0 % від загальних витрат на оплату праці
3.Матеріали для проведення досліджень	1254,82	Відповідно до розрахунків
4.Енергоносії для проведення досліджень	—	Відповідно до розрахунків (у нашому випадку включаються у статтю накладні витрати)
5.Спецобладнання для наукових цілей	—	Відповідно до розрахунків (у нашому випадку включаються у статтю накладні витрати)
6.Вартість послуг сторонніх організацій	—	За договором із сторонніми організаціями (у нашому випадку включаються у статтю накладні витрати)
7.Витрати на службові відрядження	—	Відповідно до розрахунків (у нашому випадку не передбачено)
8.Інші невраховані прямі витрати по темі	5805,94	10 % від суми прямих розрахованих витрат по темі
9.Накладні витрати	12773,08	Відповідно до нормативів організації-виконавця теми (у нашому випадку 20 % від суми прямих витрат)
10.Усього витрат по темі	76638,51	Сума попередніх статей

4.3 Наукова ефективність НДР

Для оцінки доцільності проведення роботи необхідно проаналізувати очікуваний економічний результат науково-дослідної роботи. Для цього можна

використати систему оцінювання економічної ефективності, яка базується на балах. Зазначена система використовує наступні показники для визначення щорічного економічного ефекту.

- важливість розробки (K1);
- можливість використання результатів розробки (K2);
- теоретичне значення та рівень новизни (K3);
- складність дослідження (K4).

Коефіцієнт K1 може приймати такі значення:

- а) незалежна ініціативна робота, не включена до комплексної програми і не є директивним завданням – 1 бал;
- б) виконання роботи на основі угоди про науково-технічне співробітництво – 3 бали;
- в) робота є частиною програми відповідного департаменту – 5 балів;
- г) робота є частиною комплексної міжвідомчої програми з елементами результативної реалізації – 7 балів;
- д) робота входить до міжнародної комплексної програми – 8 балів.

Коефіцієнт K2 може приймати наступні 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 декількома організаціями – 5 балів;
- г) результатами розробки можуть користуватися в масштабах однієї галузі – 8 балів;
- д) результатами розробки можуть користуватися у різних галузях – 10 балів.

Коефіцієнт K3 може приймати наступні 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 тощо – 6 балів;

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

Коефіцієнт К₄ може приймати наступні 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 декількома підрозділами, витрати від (100 000 до 200 000) гривень – 7 балів;

д) робота виконується декількома організаціями, витрати понад 200 000 гривень – 9 балів.

Загальна бальна оцінка (Б) визначається шляхом перемноження коефіцієнтів:

$$B = K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \quad (4.1)$$

де К₁ – показник важливості роботи;

К₂ – показник можливості використання результатів;

К₃ – показник вагомості теоретичного значення та рівня новизни дослідження;

К₄ – показник складності дослідження.

Бальну оцінку економічної ефективності даної НДР наведено у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Бальна оцінка ефективності НДР

Показник оцінки ефективності НДР	Умове позначення показника	Характеристики даної роботи	Кількість балів
1. Важливість розробки	K1	Ініціативна робота, яка не входить до складу комплексної програми та не є завданням директивних органів	1
2. Можливість використання результатів розробки	K2	Результатами розробки можуть користуватися у різних галузях	10
3. Теоретична значимість та рівень новизни розробки	K3	Внаслідок виконання роботи отримана нова інформація, яка частково змінює уявлення про природу досліджуваних процесів	5
4. Складність дослідження	K4	Роботу виконує один підрозділ, витрати від 50 000 до 100 000 гривень	5

Дивлячись на таблицю 4.5 оцінка ефективності для даної НДР становить:

$$B = 1 \times 10 \times 5 \times 5 = 250$$

Умовний ефект НДР можна визначити за формулою:

$$E_{\text{НДР}}^y = 500 \times B - E_n \times V_{\text{НДР}} \quad (4.2)$$

де 500 – умовна вартість одного балу;

B – бальна оцінка ефективності;

E_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності (для роботи обрано значення – 0,25);

$V_{\text{НДР}}$ – сумарні витрати на виконання НДР;

Для даної роботи умовний ефект виконання НДР становитиме:

$$E_{\text{НДР}}^y = 500 \times 250 - 0,25 \times 76638,51 = 105840,37$$

Коефіцієнт умовної економічної ефективності (E_e) відображає ступінь рентабельності НДР. Цей коефіцієнт представляє співвідношення між умовним ефектом виконання НДР і загальними витратами на його реалізацію. Формула для розрахунку коефіцієнта така:

$$E_e = E_{\text{НДР}}/B_{\text{НДР}} \quad (4.3)$$

Коефіцієнт умовної економічної ефективності НДР буде відповідати таким значенням:

$$E_e = 105840,37/76638,51 = 1,381$$

Отримане значення коефіцієнта умовної економічної ефективності НДР дорівнює 1,381, що перевищує одиницю. Таким чином, можна зробити висновок, що виконання даної НДР є доцільним.

4.4 Висновки до розділу 4

Було розраховано заплановану бюджетну вартість науково-дослідної роботи, яка складає 76638,51 грн. Проведений розрахунок коефіцієнта умовної економічної ефективності для даного проекту дав значення 1,381, що перевищує одиницю. Це підтверджує, що з економічної точки зору проведення цього дослідження є ефективним.

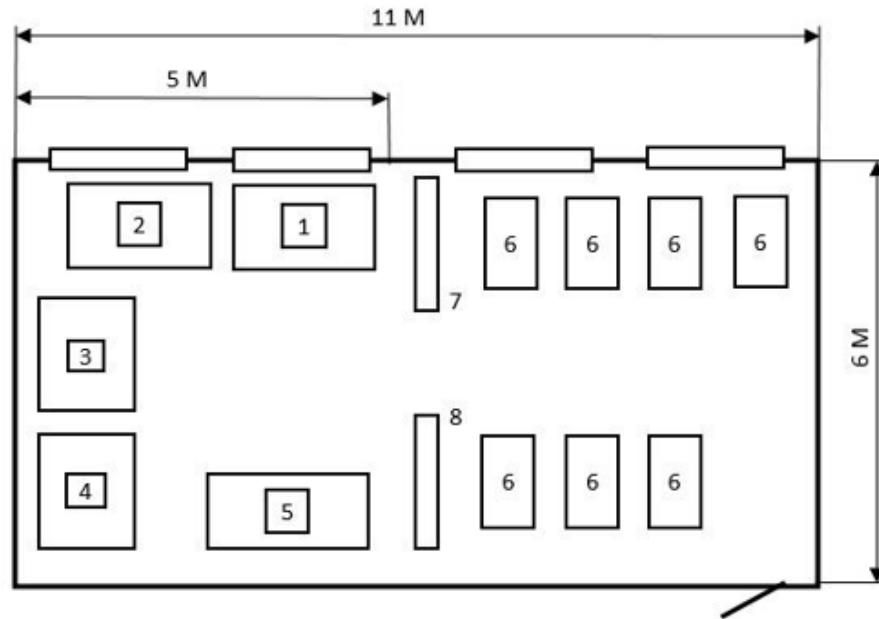
5 ОХОРОНА ПРАЦІ

На підприємствах охорона праці є важливою складовою виробничого процесу. Ця система включає законодавчі акти, які регулюють соціально-економічні, технічні, санітарно-гігієнічні та організаційні заходи, спрямовані на захист працівників від потенційних небезпек і збереження їх здоров'я та працездатності. Конституція України гарантує право людини на безпеку праці.

Мета розділу охорони праці полягає в аналізі небезпечних і шкідливих факторів, визначенні потенційних загроз і розробці способів їх запобігання під час науково-дослідної роботи. У даному дослідженні досліджується вплив термічної обробки на структуру та властивості сплавів з пам'яттю форми на основі міді.

5.1 Аналіз параметрів приміщення

Дослідницька робота проводилась в лабораторії на кафедрі "Фізичного матеріалознавства та термічної обробки" у приміщенні з номером 511, що знаходиться на 5-му поверсі 9-го корпусу. На рисунку 5.1 показана схематична демонстрація лабораторії та розташування всіх її елементів. Після проведення вимірювань були отримані наступні дані: ширина лабораторії - 6 метрів, довжина - 11 метрів, висота - 3 метри. Площа приміщення складає 66 квадратних метрів, а його об'єм - 198 кубічних метрів. Розміри вікон: ширина - 2 метри, висота - 1,8 метра. В лабораторії працює 3 людини, тому на кожну з них припадає 22 квадратних метри площі та 66 кубічних метрів об'єму. Отримані показники відповідають вимогам Державних санітарних правил і норм "Гігієнічні вимоги до організації та утримання робочих місць" (ДСанПН 3.32 - 007 - 98), згідно з якими на кожну людину повинно припадати не менше 6 квадратних метрів площі та 20 кубічних метрів об'єму [21].



1 – настільний скануючи електронний мікроскоп; 2 – комп'ютер; 3 – оптичний мікроскоп; 4 – мікротвердомір ПМТ-3М; 5 – чотирьохзондовий резистометр; 6 – парта; 7 – шафа з документами; 8 – шафа з матеріалами.

Рисунок 5.1 – Схема лабораторії

5.2 Мікроклімат робочої зони

Якість атмосферного середовища у робочій зоні має вирішальне значення під час виконання будь-якої роботи, оскільки вона безпосередньо впливає на здоров'я працівників та їхню продуктивність. Отже, важливо постійно аналізувати стан повітря у робочій зоні та переконуватись, що він відповідає санітарним нормам мікроклімату для промислових приміщень, встановленим відповідно до Державних санітарних норм "Гігієнічні нормативи мікроклімату виробничих приміщень" (ДСН 3.3.6.042-99). Для проведення дослідження мікроклімату у робочій зоні необхідно виміряти такі параметри: температуру повітря (у градусах Цельсія), відносну вологість повітря (у відсотках), швидкість руху повітря (у метрах на секунду) та порівняти їх з оптимальними значеннями, залежно від пори року та категорії роботи, щоб забезпечити комфортні умови працівників [22].

Дослідницьку роботу, яка проводилась у лабораторії, можна віднести до категорії важкості Іб. Ця категорія відповідає легкій фізичній роботі, яка зумовлює витрату енергії організму до 150 кілокалорій на годину [22].

Параметри робочої зони мікроклімату кімнати 511 були наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Параметри мікроклімату для категорії роботи Іб

Пора року	Температура, °C	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
Допустима для холодного періоду	17 – 25	75	0,2
Данні вимірювань	21	70	0,1
Допустима для теплого періоду	19 – 27	60	0,3
Данні вимірювань	22	55	0,2
Висновки	Задовольняє вимогам	Задовольняє вимогам	Задовольняє вимогам

На основі отриманих вимірювань мікроклімату встановлено, що робоча зона приміщення, де проводиться науково-дослідна робота, відповідає вимогам щодо якості повітря та забезпечує безпечні умови для праці.

5.3 Аналіз освітленості приміщення

Правильне освітлення робочої зони має велике значення для створення комфортних умов праці та позитивно впливає на концентрацію та здоров'я працівників. У лабораторії використовується суміщене освітлення, що включає природне та штучне освітлення. Природне бокове освітлення забезпечується

віконними прорізами, розташованими на північній стороні, а відстань від вікна до основної робочої зони становить 3 метри. Для загального штучного освітлення використовуються 24 люмінесцентні лампи ЛБ-40. Зважаючи на те, що розмір деяких зразків не перевищує декількох міліметрів, роботу, що виконується в лабораторії, можна віднести до робіт високої точності (восьмий розряд зорових робіт).

Недостатнє або надмірне освітлення, а також його нерівномірність можуть спричинити втому очей, зниження продуктивності працівника, а навіть викликати головний біль та розлад зору.

5.4 Організація робочого місця

Організація робочого місця є важливою для забезпечення працівників комфортною та ефективною робочою зоною. Враховуючи норми ДСанПіН 3.3.2.007-98 та НПАОП 0.00-1.28-10, ми стежимо за тим, щоб забезпечити максимальну продуктивність та здоров'я працівників.

Вибір робочої пози залежить від виду роботи, і для науково-дослідної роботи, яка проводиться за комп'ютером, найкращою є сидяча поза. Ретельно планується робочий графік та створюється комфортна робоча зона для кожного працівника.

Для досягнення оптимальних умов роботи, робоче місце користувача ПК повинно відповідати певним параметрам. Висота робочої поверхні столу для комп'ютера повинна бути в межах (680-900) мм, ширина – 1000 мм – 1500 мм, а глибина – 700 мм – 1000 мм. Ми також забезпечуємо наявність підставки для ніг шириною не менше 300 мм та глибиною не менше 400 мм. Якщо підставка відсутня, то ми враховуємо вимоги до місця для ніг з висотою 600 мм, шириною 500 мм та глибиною (450 – 650) мм [23].

Працівнику під час роботи за комп'ютером необхідно займати правильну позицію. Відстань від очей до монітора ПК повинна становити приблизно 500

мм, а клавіатура повинна бути віддаленою від краю столу на 300 мм. Крім того, поверхня робочого столу має мати коефіцієнт відбиття 0,6.

Організація робочих місць у кабінеті 511 відповідає всім нормам і створює оптимальні умови для науково-дослідної роботи співробітників.

5.5 Виявлення і аналіз наявності шуму

Шум – це сукупність різноманітних звуків, що виникають у пружному середовищі через коливання частинок. Тривалий вплив шуму негативно впливає на нервову систему та слух людини, а також може призводити до емоційного та психологічного виснаження. Поріг больової чутливості для людини становить 120 дБА.

У лабораторії присутня витяжна шафа, яка використовується для травлення зразків. Шум, що випромінює це обладнання, не перевищує припустимий рівень, відповідно до вимог ДСН 3.3.6.037-99 [23].

Під час проведення науково-дослідної роботи було використано пристрій ВУП-5М, який також має певний рівень шуму під час роботи. Проте це устаткування не перевищує допустимий рівень шуму згідно з вимогами ДСН 3.3.6.037-99 [23], тому не спричиняє ризику професійних захворювань.

Під час виконання наукових досліджень було дотримано норм ДСН 3.3.6.037-99 щодо рівня шуму, і він не перевищував допустимих значень. Це забезпечило безпечні умови для виконавців досліджень, не негативно впливаючи на їх здоров'я.

5.6 Виробниче випромінювання

Існують нормативні вимоги щодо виробничих випромінювань, які визначені у документі "Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97)" [24].

Під час проведення науково-дослідної роботи передбачається використання комп'ютера (ЕОМ).

Робота з комп'ютером включає певні ризики для здоров'я людини, такі як ультрафіолетове випромінювання, електростатичне поле та невикористане рентгенівське випромінювання. Крім того, робота за комп'ютером може призводити до значного напруження очей.

З метою запобігання соматичних та генетичних наслідків від випромінювання, ДСП 6.177-2005-09-02 [25] встановлює норми потужності експозиційної дози рентгенівського випромінювання для радіоелектронної апаратури. Ці норми передбачають, що рівень випромінювання не повинен перевищувати $2,78 \times 10^{-12}$ мкР/с (100 мкР/год), якщо оператор знаходиться на відстані 5 см від зовнішньої поверхні пристрою.

Оскільки використання ЕОМ є необхідною складовою багатьох етапів досліджень, час роботи за комп'ютером не повинен перевищувати 4 години протягом однієї робочої зміни.

5.7 Безпека при роботі з електричними приладами

Електробезпека охоплює комплекс заходів, спрямованих на захист працівників від небезпеки, пов'язаної з електричним струмом.

Основне завдання електробезпеки полягає у запобіганні або мінімізації негативних наслідків електричного струму для людей.

На силу електричного ураження впливають такі фактори: величина струму (1 мА), тип струму (перемінний), частота струму (50 Гц), тривалість дії струму, стан організму людини та виробниче середовище.

Категорія приміщення визначається наявністю факторів, які можуть спричинити електротравму. Серед таких факторів можна виділити [26]:

- температура в приміщенні вище 35 °С;
- відносна вологість вище 75%;
- наявність струмопровідної підлоги (металева, бетонна, цегляна);
- можливість одночасного доторкання до неструмовідних частин приладів або струмопровідних конструкцій.

Під час проведення науково-дослідної роботи існує ризик ураження електричним струмом, який може виникнути від комп'ютера, що використовується для обробки результатів, а також від установки ВУП-5М.

Кімната, де виконувалася робота, відповідає класу І, оскільки корпуси та прилади належним чином заземлені. Робочі місця розташовані таким чином, щоб уникнути одночасного доторкання до корпусів, електроустаткування та приладів. Прилад ВУП-5 живиться від мережі з напругою 220 В.

5.8 Пожежна безпека

Відповідно до вимог НАПБ Б.03.002-2007 [27], лабораторія 511-9 класифікується як категорія "В" з пожежонебезпекою, оскільки в ній знаходяться горючі та важкогорючі рідини та тверді матеріали. Місця прокладання електропроводки та розташування комп'ютерів є особливо пожежонебезпечними. Причиною пожежі може бути коротке замикання в електропроводці. У разі, коли особа потрапила під вплив електричного струму, перш за все потрібно припинити живлення в приміщенні, покласти потерпілу на дерев'яний паркет з використанням одягу як підкладки для голови, і негайно зателефонувати за номером екстреної допомоги 103. Якщо необхідно, слід надати першу допомогу з реанімації.

У випадку, якщо комп'ютер або електрична проводка вибухнули, необхідно відключити живлення в приміщенні, телефонувати за номером пожежної бригади 101 і почати гасити вогонь використовуючи доступний вогнегасник типу ВВК-1,4.

У лабораторії використовуються вуглекислотні вогнегасники ВВК-1,4 для гасіння пожеж. Використання цих вогнегасників допускається лише при напрузі на приладах, які не перевищує 1000 В. Для виявлення пожежі в лабораторії встановлені температурні датчики-сигналізатори. У разі пожежі всі працівники повинні негайно евакуюватися відповідно до плану евакуації (див. рисунок 5.1).

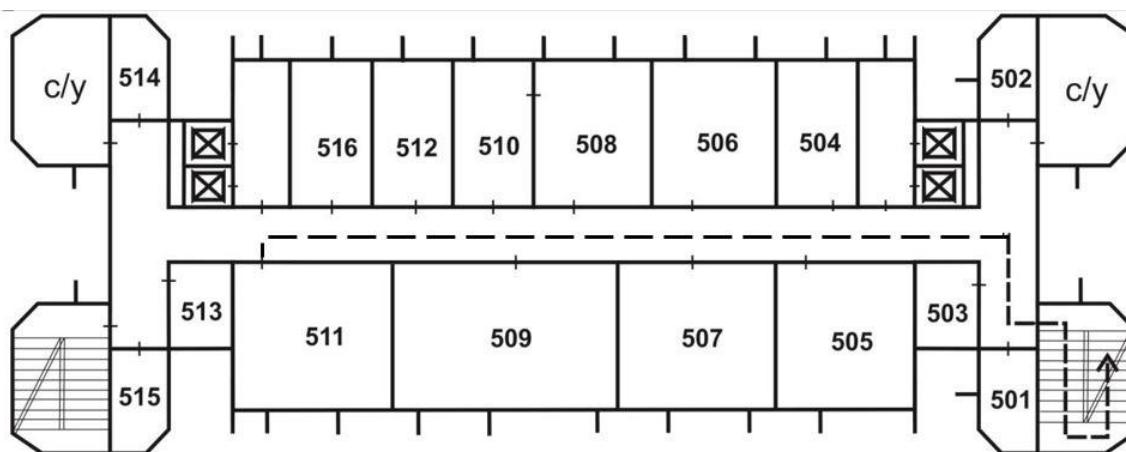


Рисунок 5.2 – План евакуації із лабораторії № 511

5.9. Повітряна тривога

Сигнал «Повітряна тривога» поширюється через радіо, телебачення та централізовану систему оповіщення. Для того, щоб увімкнути сповіщення про «Повітряну тривогу», зайдіть у «Налаштування», знайдіть застосунок «Тривога!» та відкрийте його налаштування. Натисніть «Сповіщення»

Під час спрацювання сигналу "Повітряна тривога" працівники повинні діяти відповідно до наступних вказівок:

Негайно виконати розпорядження керівництва і перейти до найближчого укриття або захисної споруди.

Якщо неможливо швидко пересунутися до укриття, вибрати найбезпечніше місце в приміщенні, яке знаходиться подалі від вікон та зовнішніх стін.

Утриматися від виходу на вулицю під час тривання "Повітряної тривоги".

Укриття або захисна споруда.

Швидко і організовано пересунутися до укриття або захисної споруди.

Дотримуватися вказівок та інструкцій цивільного захисту, наданих керівництвом або відповідними органами.

Після закінчення сигналу "Повітряна тривога"

Повернутися на робочі місця або діяти згідно з додатковими вказівками керівництва або органів цивільного захисту.

Виконати завдання щодо цивільного захисту відповідно до інструкцій та вимог.

Враховуючи ці вказівки, працівники мають негайно і відповідально діяти, дотримуватися розпоряджень керівництва та пересуватися до найближчих укриттів або захисних споруд. Дотримання вказівок та інструкцій щодо безпеки є важливим для особистої безпеки та мінімізації ризиків під час надзвичайних ситуацій.

У громадських місцях варто уважно слухати вказівки адміністрації та діяти відповідно до них, наприклад, рухатися до зазначених сховищ або укриттів.

5.10 Висновки до розділу 5

1. Проведено аналіз потенційних шкідливих та небезпечних факторів, які можуть виникнути під час виконання даного науково-дослідного проекту. Розроблені заходи для запобігання травмам учасників досліджень на всіх етапах роботи.

2. Встановлено, що для забезпечення необхідного рівня освітленості робочої зони використовується комбіноване освітлення, оскільки природне освітлення само по собі недостатнє для створення прийнятних робочих умов.

3. Мікроклімат, освітлення та організація робочого місця повністю відповідають необхідним вимогам і санітарним нормам, а рівні шуму та випромінювання не перевищують допустимі значення. Таким чином, всі умови є сприятливими для проведення науково-дослідної роботи.

ВИСНОВКИ

1. Досліджено, вплив термічної обробки на мікроструктуру, хімічний та фазовий склад, а також температуру протікання мартенситного перетворення.

2. За даними ДСК визначено, що кількість Мп впливає на температуру протікання мартенситного перетворення та на його функціональні властивості. З підвищенням Мп до 10 % мартенситне перетворення не спостерігається.

3. Згідно рентгеноструктурного аналізу встановлено, що відпал при температурі 200 °С протягом 12 годин призводить до розпаду пересиченого β -твердого розчину з ГЦК ґраткою і утворенням нанодисперсної феромагнітої фази.

4. За результатами ЕДС (енергодисперсійної рентгенівської спектроскопії) встановлено, що після загартування і старіння, Мп і Al рівномірно розподілені в Сu матриці, що свідчить про високу гомогенність. Внаслідок термічної обробки і старіння, усереднена концентрація не змінилась, через те що розмір зонда (проби) значно перевищує розмір наночастинок.

5. За даними фазового рентгеноструктурного аналізу встановлено, що після термообробки, цей сплав знаходиться в аустенітному стані, мартенситу не спостерігається

6. Було здійснено розрахунок запланованої бюджетної вартості науково-дослідної роботи, яка становить 76638,51 грн. Після обчислення коефіцієнта умовної економічної ефективності для даного дослідження отримано значення 1,381, що перевищує одиницю. Це свідчить про те, що проведення даного дослідження є обґрунтованим та ефективним з економічної точки зору.

7. У приміщенні лабораторії під номером 511-9, де проводилися дослідження для цієї дипломної роботи, створені відповідні умови щодо мікроклімату та освітлення. Організація робочого місця повністю відповідає всім необхідним вимогам і санітарним нормам. Рівні шуму та випромінювання знаходяться в межах припустимих нормативів.

CONCLUSIONS

1. The effect of thermal treatment on microstructure, chemical and phase composition, as well as the temperature of martensitic transformation flow, has been investigated.

2. According to the DSC data, it has been determined that the amount of Mn affects the temperature of martensitic transformation flow and its functional properties. With an increase in Mn content up to 10%, martensitic transformation is not observed.

3. X-ray structural analysis has revealed that annealing at a temperature of 200°C for 12 hours leads to the decomposition of the solid solution with a BCC lattice and the formation of a nano-dispersed ferromagnetic phase.

4. Based on Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS) results, it has been found that after quenching and aging, Mn and Al are uniformly distributed in the Cu matrix, indicating high homogeneity. Due to thermal treatment and aging, the average concentration remains unchanged, as the size of the probe significantly exceeds the size of the nanoparticles.

5. According to the phase X-ray structural analysis, after heat treatment, the alloy is in an austenitic state, and martensite is not observed.

6. The planned budget cost for the research has been calculated and amounts to 76,638.51 UAH. After calculating the coefficient of conditional economic efficiency for this study, a value of 1.381 has been obtained, which exceeds unity. This indicates that conducting this research is justified and economically efficient.

7. The laboratory room numbered 511-9, where the research was conducted, provides suitable conditions for microclimate and lighting. The organization of the workplace fully complies with all requirements and sanitary norms. The levels of noise and radiation are within permissible limits.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. <https://journals.scicell.org/index.php/AMS/article/view/61> / Mechanical and corrosion behavior of iron modified Cu-Zn-Al alloys. (дата звернення: 29.04.2023).
2. Miyazaki S. Development of Shape Memory Alloys / S. Miyazaki, K.Otsuka // Institute of Materials Science. – 1989. – Vol. 29(9), – P. 353-377.
3. https://www.jstage.jst.go.jp/article/isijinternational1989/29/5/29_5_353/pdf/-char/en Development of Shape Memory Alloys. (дата звернення 29.04.2023).
4. https://www.jstage.jst.go.jp/article/isijinternational1989/29/5/29_5_353/pdf/-char/en Applying of Shape Memory Alloys. (дата звернення 29.04.2023).
5. <https://jp4.journaldephysique.org/en/articles/jp4/abs/1995/08/jp419950508p961/jp419950508p961.html> Ductile Shape Memory Alloys of the Cu-Al-Mn (дата звернення 29.04.2023).
6. Kainuma R. Thermoelastic Martensite and Shape Memory Effect in Ductile Cu-Al-Mn Alloys / R. Kainuma, S. Takahashi, K. Ishida // Metallurgical and materials transactions. – 1996. – Vol. 27(4). – P. 155-163.
7. Sutou Y. Characteristics of Cu-Al-Mn-based shape memory alloys and their applications / Y. Sutou, T. Omori, J.J. Wang // Department of Materials Science, – 2008. – Vol. 19(3). – P. 278-283.
8. Meo M. Shape memory alloy hybrid composites for improved impact properties for aeronautical applications / M. Meo, F. Marulo, M. Guida // The University of Bath. – 2012. – Vol. 39(9). – P. 756-766.
9. Machado L. Medical applications of shape memory alloys / L. Machado M. Savi // Brazilian Journal of Medical and Biological Research. – 2003. – Vol. 36(15). – P. 683-691.
10. Sutou Y. Development of Medical Guide Wire of Cu-Al-Mn–Base Superelastic Alloy with Functionally Graded Characteristics / Y. Sutou, T. Omori // Furukawa, Tohoku University, – 2007, – Vol. 32(3), – P. 65-69.

11. Dasguptaa R. A look into Cu-based shape memory alloys: Present scenario and future prospects / R. Dasguptaa, J. Mater // Journal of Materials Research. – 2014. – Vol. 29(16). – P. 1681-1698.
12. Sutou Y. Effect of alloying elements on the shape memory properties of ductile Cu-Al-Mn alloys / Y. Sutou, R. Kainuma, K. Ishida // Department of Materials Science, Graduate School of Engineering, Tohoku University. – 2002. – Vol. 12(7). – P. 377-379.
13. Minjuan W. Martensitic transformation involved mechanical behaviors and wide hysteresis of NiTiNb shape memory alloys / W. Minjuan, J. Mingyang, L. Guangyue // School of Materials Science and Engineering. – 2012. – Vol. 9(8). – P. 130-138.
14. Sutou Y. Effects of ageing on bainitic and thermally induced martensitic transformations in ductile Cu-Al-Mn-based shape memory alloys / Y. Sutou, N. Koeda, T. Omori // Department of Materials Science. – 2011. – Vol. 16(12). – P. 5748-5758.
15. Банных О. «Диаграммы состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа» / О. Банных, П. Будберг // Металлургия. – 1986. – С. 145-154.
16. Варлимонт Х. «Мартенситные превращения в сплавах на основе меди серебра и золота» / Х.Варлимонт, Л.Дилей // Москва «Наука». – 1980. – С. 25-43.
17. Носова Е.А. «Металлография: метод указания» / Е.А. Носова, А.А. Кузина // Издательство Самарского университета. – 2018. – С. 100-108.
18. Коростелев П.П. «Химический анализ в металлургии» / П.П Коростелев // Металургия. – 1988. – С. 384.
19. Goldstein J. Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis // Extra materials. – 2003. – P. 689.
20. Мудрий С.І. «Рентгеноструктурний аналіз у матеріалознавстві» /С.І. Мудрий, Ю.О. Кулик, А.С. Якимович // Львівський національний університет імені Івана Франка. – 2017. – С. 114.

21. ДСанПіН 3.3.2.007-98 – Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами (ВДТ) електронно-обчислювальних машин.

22. 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 данні (1 файл: 26,1 Кбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2019. – 337 с.

23. НПАОП 0.00-1.28-10 – Правила охорони праці під час експлуатації ЕОМ.

24. ДСН 3.3.6.037-99 – Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

25. ДСП 6.177-2005-09-02 – Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України.– [Чинний від 2005-02-02].

26. Практикум із охорони праці. Навчальний посібник / За ред. канд. техн. наук, доцента В. Ц. Жидецького // Львів: Афіша. – 2000. – 32 с.

27. НАПБ Б.03.002-2007 – Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.

28. 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.