

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО”**

**Інститут матеріалознавства та зварювання ім. Є. О. Патона
Кафедра високотемпературних матеріалів та порошкової металургії**

«На правах рукопису»
УДК 669.017

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ Богомол Ю.І.
«___» _____ 20__р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
за освітньо професійною програмою
«Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів»
спеціальності 132 «Матеріалознавство»
на тему: "Кінетики спікання сплаву Fe-20% Mo"**

Виконав:
студент VI курсу, групи ФН-01мп
Смолінський Леонід Юрійович _____

Керівник:
Доктор техн. наук, проф.
Мазур Владислав Іустинович _____

Консультант з
розділу охорони праці:
Зав. кафедри ОППЦБ д.т.н., професор
Левченко Олег Григорович _____

Консультант з економічного розділу:
старший викладач, к.е.н.
Нараєвський Сергій Вікторович _____

Консультант з нормоконтролю:
старший викладач, к. т. н. Троснікова І. Ю. _____

Рецензент: _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає запозичень з
праць інших авторів без відповідних посилань.
Студент Смолінський Л.Ю. _____

Київ – 2021р.

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

Інститут матеріалознавства та зварювання ім. Є.О. Патона
(повна назва)

Кафедра високотемпературних матеріалів та порошкової металургії
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 132 Матеріалознавство
(код і назва)

Спеціалізація нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Ю.І. Богомол
(підпис) (ініціали, прізвище)
«____» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

**На магістерську дисертацію студенту
Смолінському Леоніду Юрійовичу**

1. Тема роботи "Кінетики спікання сплаву Fe-20% Mo", керівник роботи Мазур Владислав Іустинович, професор, д. т. н. затверджені наказом по університету від 15.11.2021 р. № 3740-с
2. Термін подання студентом роботи 14.12.2021 р.
3. Вихідні дані до роботи: Практика порошкової металургії показала, що при спіканні багатокомпонентної порошкової суміші спостерігається складна картина концентраційної, фазової та структурної неоднорідності спеченого продукту. Це обумовлено різним типом реакцій фазових перетворень на різних між фазних інтерфейсах (евтектоїдна, перитектоїдна і т.і.), різними коефіцієнтами гетеродифузії атомів різних компонентів в різних матричних фазах, нарешті різними швидкостями рекристалізації зерен різних фаз при температурі спікання. В результаті спостерігається

типова картина: на одних міжфазних інтерфейсах міжфазна реакція ледь означилась, в той час, коли на інших границях вона скінчилася і продукти цієї локальної реакції вже проходять стадію збиральної рекристалізації. При цьому втрачається основна перевага продуктів порошкової металургії – їх керована дрібнозернистість. Особливо гостро стоїть ця проблема в жароміцних та жаростійких сплавах з легуючими добавками з високою температурою плавлення. Ці обставини обумовлюють актуальність задачі дослідження мікроскопічної кінетики ізотермічного спікання Fe-Mo сплаву.

4. Зміст роботи Основна частина: Патентно-інформаційний пошук. Аналіз сучасних світових та вітчизняних літературних публікацій по темі дослідження; експериментальна частина, висновки, перелік використаної літератури.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо) тема роботи (слайд); мета (слайд); завдання (слайд); діаграма фазових рівноваг (слайд); оновлена діаграма фазових рівноваг (слайд); дослідження мікроструктури сплаву після ізотермічного спікання (слайд); фазові складові спечених сплавів (слайд); дослідження мікроструктури сплаву після ізотермічного спікання (5 слайдів); середньокутковий фрагмент дифракційної картини від продуктів ізотермічного спікання (слайд); Зміна параметрів кристалічних решіток при спіканні (слайд); розподіл концентрацій компонентів між фазами (слайд); вплив часу ізотермічної витримки на масову частку фазових складових складових (слайд); Графік зміни щільності сплаву від часу ізотермічної витримки (слайд); обговорення результатів (слайд); висновки(слайд).

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	Зав. кафедри ОППЦБ д.т.н., професор Левченко Олег Григорович	12.11.2021	
Економічний розділ	старший викладач, к.е.н. Нарасєвський С.В.	12.11.2021	

7. Дата видачі завдання 01 . 09 .2021 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Патентно-інформаційний пошук за темою роботи	06.10.2021	
2	Зібрати весь доступний літературний матеріал по фазовим рівновагам в системі Fe-Mo	20.09.2021	
3	Отримання та підготовка зразків	27.09.2021	
4	Підготовка зразків для мікроструктурного аналізу	04.10.2021	
5	Підготовка зразків для рентенофазного аналізу	11.10.2021	
6	Оформлення роботи	13.12.2021	
7	Захист дисертації	20.12.2021	

Студент

Л.Ю. Смолінський

Керівник роботи

В.І. Мазур

РЕФЕРАТ

Робота вміщує: 71 стор., 17 рис., 21 табл., 21 літ. дж.

Ключові слова: ПЕРИТЕКТИЧНЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ, ІЗОТЕРМІЧНЕ СПІКАННЯ, ФАЗОВИЙ СКЛАД, ПЕРИТЕКТОЇДНЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ, Fe-Mo.

Об'єктом дослідження курсової роботи є дослідження особливостей мікроскопічної кінетики спікання спалву Fe-20 % (мас.) Mo.

Мета роботи полягає у дослідженні особливостей мікроскопічної кінетики перитектоїдного перетворення в сплавах системи Fe-Mo, уточненні феноменологічної теорії перитектоїдного перетворення при ізотермічному збагаченні α -Fe молібденом.

За допомогою методу аналізу локальних дифузійних потоків атомів компонентів було встановлено, що на границі Fe/Mo відбувалось локальне перитектоїдне перетворення при ізотермічному підводі атомів Mo та утворенням перитектоїдної структури за схемою $\alpha\text{-Fe} + \text{Mo} \rightarrow \alpha + \mu$ з надлишковими кристалами Mo.

ABSTRACT

The work contains: 71 p., 17 fig., 21 tabl., 21 refer.

Key words: PERITEKTIC TRANSFORMATION, ISOTHERMAL SINTERING, PHASE COMPOSITION, PERITEKTOID TRANSFORMATION, Fe-Mo

The object of study of the the course work is to study the features of the microscopic kinetics of sintering sinus Fe-20% (wt.) Mo.

The aim of the work is to study the features of microscopic kinetics of peritectoid transformation in alloys of the Fe-Mo system, to clarify the phenomenological theory of peritectoid transformation in isothermal enrichment of α -Fe with molybdenum.

Using the method of analysis of local diffusion fluxes of component atoms, it was found that at the Fe / Mo boundary there was a local peritectoid transformation with isothermal supply of Mo atoms and the formation of a peritectoid structure according to the scheme α -Fe + Mo $\rightarrow$ α + μ with excess Mo crystals.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД.....	11
1.2 ФАЗОВІ РІВНОВАГИ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ЗАЛІЗА.....	11
1.2.1 Фазові рівноваги в системі Fe-Mo	11
1.3 ВЛАСТИВОСТІ ТА ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФАЗ БІНАРНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ЗАЛІЗА	12
1.3.1 Властивості та основні характеристики фаз бінарної системи Fe-Mo.....	12
1.3.2 Дослідження фазового складу переохолоджених Fe-Mo сплавів перитектичного складу	13
1.3.3 Дослідження дифузійної взаємодії топологічно замкненої упакованої μ -фази та складу міжфазних границь в системі Fe-Mo	18
1.4 ВИСНОВКИ ТА ПОСТАВНОКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ	22
1.5 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	22
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	24
2.1 ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОСТРУКТУРИ Fe-Mo СПЛАВУ ПІСЛЯ ІЗОТЕРМІЧНОГО СПІКАННЯ	24
2.2 ФАЗОВИЙ СКЛАД.....	26
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ.....	33
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	36
4.1 НЕБЕЗПЕЧНІ І ШКІДЛИВІ ВИРОБНИЧІ ФАКТОРИ	36
4.2 СПЕЦИФІКАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА ПЛАН ПРИМІЩЕННЯ	37
4.3 ОЦІНКА КЛЮЧОВИХ НЕБЕЗПЕЧНИХ ТА ШКІДЛИВИХ ВИРОБНИЧИХ ФАКТОРІВ І РОЗРОБЛЕННЯ ЗАХОДІВ ПОЛІПШЕННЯ (НОРМАЛІЗАЦІЇ) УМОВ ПРАЦІ ПРИ ВИКОНАННІ РОБОТИ (ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ, РОБОЧОЇ ОПЕРАЦІЇ).....	39

4.4	ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКА	40
4.4.1	Загальні вимоги до електробезпеки	40
4.4.2	Вимоги до експлуатації електричного обладнання.....	41
4.5	ВИМОГИ ДО БЕЗПЕКИ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	42
4.5.1	Пожежна безпека	42
4.5.2	Вимоги до безпеки в аварійних ситуаціях.....	43
4.6	ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ	44
5	ЕНЕРГЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	45
6	ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	48
6.1	НАУКОВО-ТЕХНІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ НДР.....	48
6.2	РОЗРАХУНОК ВИТРАТ НА ПРОВЕДЕННЯ НДР	48
6.2.1	Витрати на оплату праці.....	48
6.2.2	Єдиний соціальний внесок	49
6.2.3	Матеріали, необхідні для проведення досліджень	49
6.2.4	Енергоносії для проведення досліджень	50
6.2.5	Витрати на спеціальне обладнання	50
6.2.6	Вартість послуг сторонніх організацій	51
6.2.7	Витрати на службові відрядження.....	51
6.2.8	Інші прямі невраховані витрати	51
6.2.9	Накладні витрати.....	52
6.2.10	Розроблення планової калькуляції кошторисної вартості теми	52
6.3	НАУКОВО-ТЕХНІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ НДР.....	53
7	РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	57
7.1	АКТУАЛЬНІСТЬ.....	57
7.2	МЕТА І ЗАВДАННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ.....	57
7.3	ОПИС ІДЕЇ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	58
7.3.1	Технологічний аудит ідеї проекту.....	58
7.4	АНАЛІЗ РИНКОВИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАПУСКУ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	59
7.5	РОЗРОБЛЕННЯ РИНКОВОЇ СТРАТЕГІЇ ПРОЕКТУ.....	64
7.6	РОЗРОБЛЕННЯ МАРКЕТИНГОВОЇ ПРОГРАМИ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	65

7.7 ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ ЗБУТУ.....	66
7.8 ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ.....	67
ВИСНОВКИ.....	68
CONCLUSIONS.....	69
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	70

ВСТУП

Практика порошкової металургії показала, що при спіканні багатокомпонентної порошкової суміші спостерігається складна картина концентраційної, фазової та структурної неоднорідності спеченого продукту. Це обумовлено різним типом реакцій фазових перетворень на різних між фазних інтерфейсах (евтектоїдна, перитектоїдна і т.і.), різними коефіцієнтами гетеродифузії атомів різних компонентів в різних матричних фазах, нарешті різними швидкостями рекристалізації зерен різних фаз при температурі спікання. В результаті спостерігається типова картина: на одних міжфазних інтерфейсах міжфазна реакція ледь означилась, в той час, коли на інших границях вона скінчилася і продукти цієї локальної реакції вже проходять стадію збиральної рекристалізації. При цьому втрачається основна перевага продуктів порошкової металургії – їх керована дрібнозернистість. Особливо гостро стоїть ця проблема в жароміцних та жаростійких сплавах з легуючими добавками з високою температурою плавлення. Ці обставини обумовлюють актуальність задачі дослідження мікроскопічної кінетики ізотермічного спікання Fe-Mo сплавів.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.2 Фазові рівноваги систем на основі заліза

1.2.1 Фазові рівноваги в системі Fe-Mo

Діаграма стану системи залізо-молібден. Фаза-R при (37 ат. %Mo); Фаза- α утворюється по перитектичній реакції при 1540 °C в сплавах, що містять (50 ат. %Mo), і стійка до температури 1235 °C, при якій розпадається на суміш λ -фази і твердого розчину на основі молібдену.[1]

На рисунку 1.1 приведена діаграма стану системи залізо-молібден. Фаза- μ знаходиться в рівновазі з α -Fe при температурах нижче 1200 °C, а присутній в сплавах до 1370 °C. Фаза R утворюється при 1488 °C по перитектичній реакції і розпадається по евтектоїдній при 1200 °C на суміш α -Fe + μ . При 950 °C по перітектоїдній реакції утворюється λ -фаза на основі поєднання Fe_2Mo . [2]

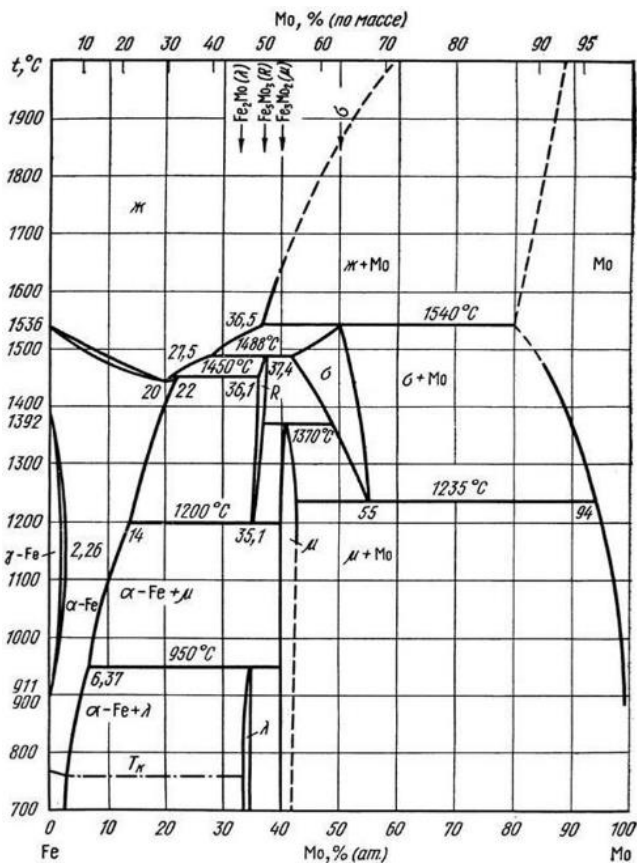


Рисунок 1.1 Діаграма фазових рівноваг в системі Fe-Mo [2]

1.3 Властивості та основні характеристики фаз бінарних систем на основі заліза

1.3.1 Властивості та основні характеристики фаз бінарної системи Fe-Mo

Компонент Мо: хімічний елемент позначається як Мо, у періодичній таблиці елементів його атомний номер 42, атомна маса 95,94 г/моль. електронна конфігурація $[\text{Kr}]4d^5 5s^1$; група VI, період 5, d-блок. Радіус атома – 0,139 нм. Енергія іонізації (перший електрон) – 684,8(7, 10) кДж/моль (еВ), молярна теплоємність – 0,251 Дж/(К*моль). Теплопровідність – 138 Вт/(м*К). Має 7 стабільних ізотопів (92, 94, 95, 96, 97, 98-найбільше, 100). Ступені окиснення від +6 до –2. Галіди Mo^{6+} — полімерні з Мо–Мо зв'язками. У нижчих ступенях окиснення типовими є фосфінові і карбонільні похідні. З донорними атомами, зокрема з О- та S-лігандами, утворює комплекси у вищих ступенях окиснення. Відомі комплекси з нітрогеновмісними лігандами. Оксиди MoO_2 , MoO_3 . Проста речовина — молібден. $T_{\text{пл}} = 2620$ °С; $T_{\text{кип}} = 4600$ °С. Сріблясто-сірий тугоплавкий метал. Густина 10200 кг/м³. Окислюється на повітрі з утворенням захисної оксидної плівки [3].

Компонент Fe: хімічний елемент 8-ї групи, 4-го періоду періодичної системи хімічних елементів, його атомний номер 26, атомна маса становить 55,847 г/моль. Електронна конфігурація заліза – $[\text{Ar}] 3d^6 4s^2$. Радіус атома – 0,126нм. Структура заліза – ОЦК. Період кристалічної ґратки $a = 2,870$ Å при кімнатній температурі. Залізо – ковкий, в'язкий сріблясто-білий метал, має досить високу електро- і теплопровідність, пластичність, легко кується, штампується, витягується в дріт і вальцюється в тонкі листи, легко намагнічується і розмагнічується. Вище температури Кюрі (770 °С) втрачає феромагнітні властивості. До температури 912 °С існує в алотропній модифікації α -заліза з об'ємноцентрованою кубічною кристалічною ґраткою, за вищої температури — γ -заліза із гранецентрованою кубічною ґраткою, вище 1394 °С знову змінює тип ґратки на об'ємноцентровану кубічну (δ -залізо). Густина заліза – 7,874 г/см³. Температура плавлення 1808 К. Температура кипіння 3023 К. Його твердість за Брінеллем не перевищує 100 НВ. Модуль Юнга – 190–210·10³ МПа. Модуль зсуву – 8,4·10³ МПа. Границя міцності на розрив – 170–210 МПа. Границя текучості – 100

МПа. Ударна в'язкість – 300 МПа. Середня питома теплоємність (273–1273 К) – 640,57 Дж/кг·К. Теплопровідність – 80,4 Вт/(м·К). Молярна теплоємність – 25,14 Дж/(К·моль). На повітрі легко окиснюється, вкриваючись іржею $\text{FeO} \cdot n\text{H}_2\text{O}$, що сповільнює подальше його руйнування [4].

1.3.2 Дослідження фазового складу переохолоджених Fe-Mo сплавів перитектичного складу

На діаграмі стану фазових рівноваг Fe-Mo [5] (рис 1.2) присутні два перитектичних перетворення $\text{Mo} + \text{P} \leftrightarrow \sigma(\text{Fe}_{47}\text{Mo}_{53})$ при температурі $T_{\text{п};\sigma} = 1611^\circ\text{C}$ та $\sigma + \text{P} \leftrightarrow \text{R}(\text{Fe}_{63}\text{Mo}_{37})$ при температурі $T_{\text{п};\text{R}} = 1488^\circ\text{C}$

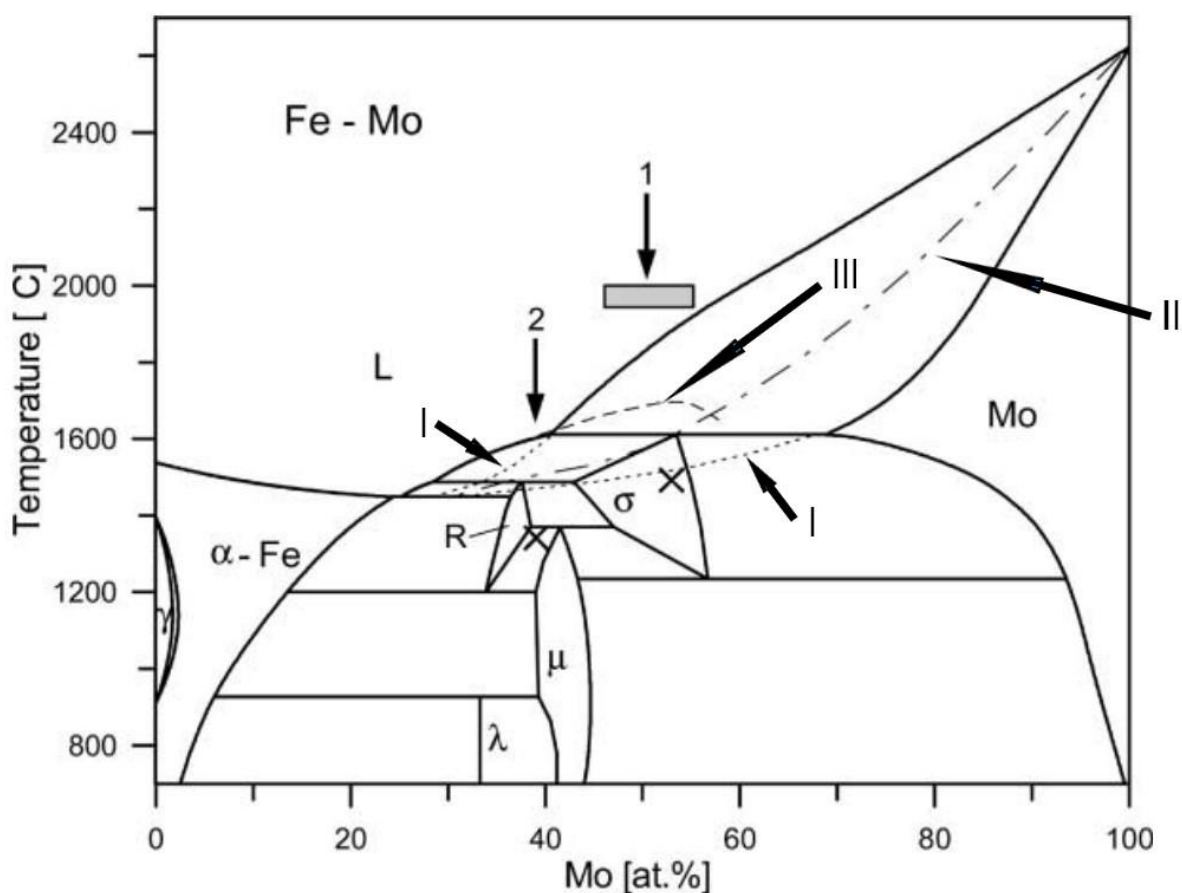


Рисунок 1.2 – Діаграма стану фазових рівноваг Fe-Mo [5]. I – метастабільне продовження ліній ліквідус і солідус Mo; II – T_0 -лінія; III - метастабільше

продовження лінії ліквідус σ . Стрілками 1,2 позначені два досліджуваних діапазони складу сплаву Fe-Mo [6]

В даній роботі [7] було проведено дослідження впливу переохолодження на фазовий склад Fe-Mo сплавів перитектичного складу.

Температурно-часові характеристики актів рекалесценції переохолоджених $\text{Fe}_{47}\text{Mo}_{53}$ та $\text{Fe}_{63}\text{Mo}_{37}$ сплавів показані на (рис. 1.3)

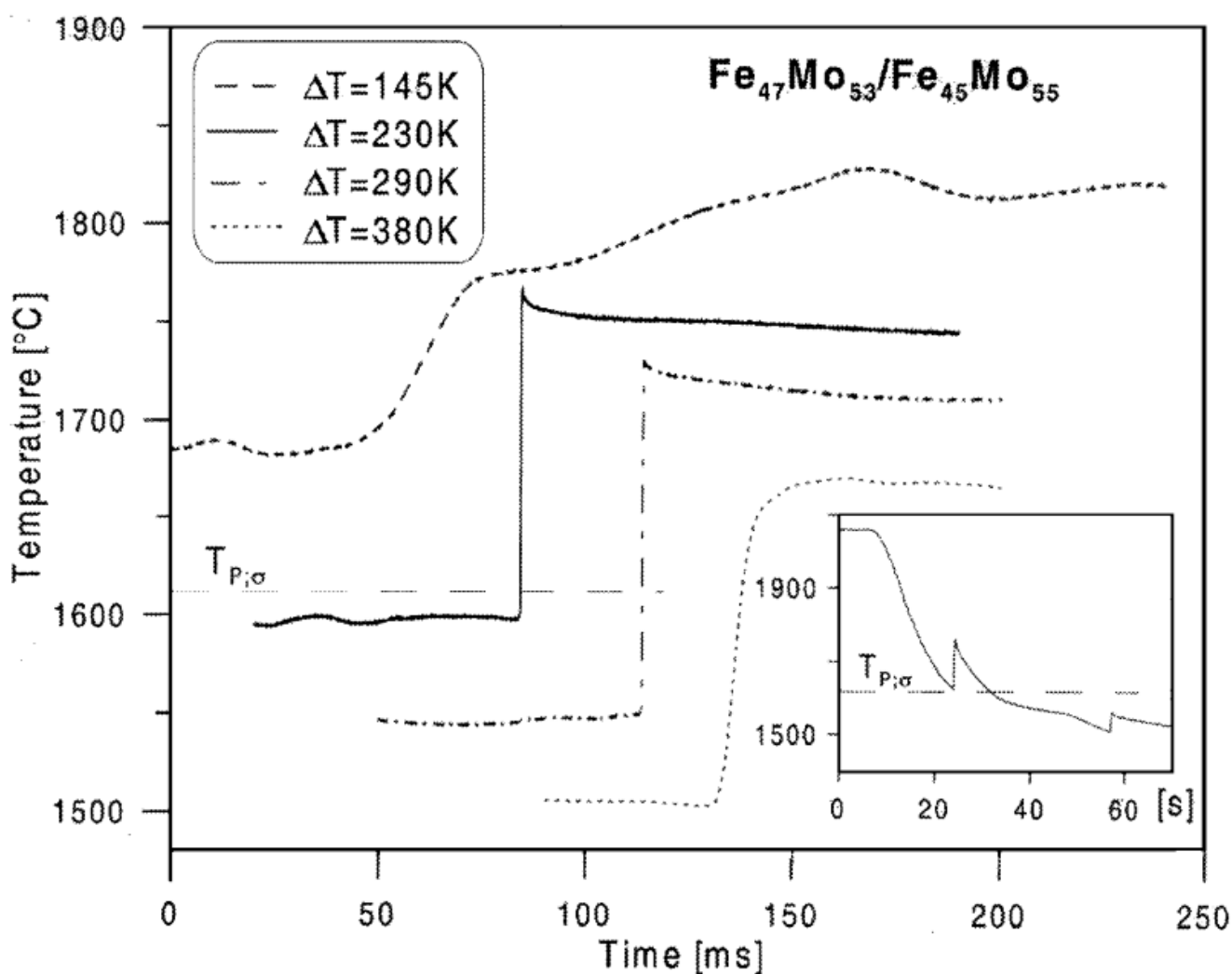


Рисунок 1.3 – Температурно-часові характеристики первинної рекалесценції перитектичних сплавів Fe-Mo з різними температурами переохолодження $\Delta T=145$ K, $\Delta T = 230$ K, $\Delta T = 290$ K для $\text{Fe}_{45}\text{Mo}_{55}$ та $\Delta T = 340$ K для $\text{Fe}_{47}\text{Mo}_{53}$. [7]

Залежність швидкості росту твердої фази від ΔT представлена на рисунку 1.4.

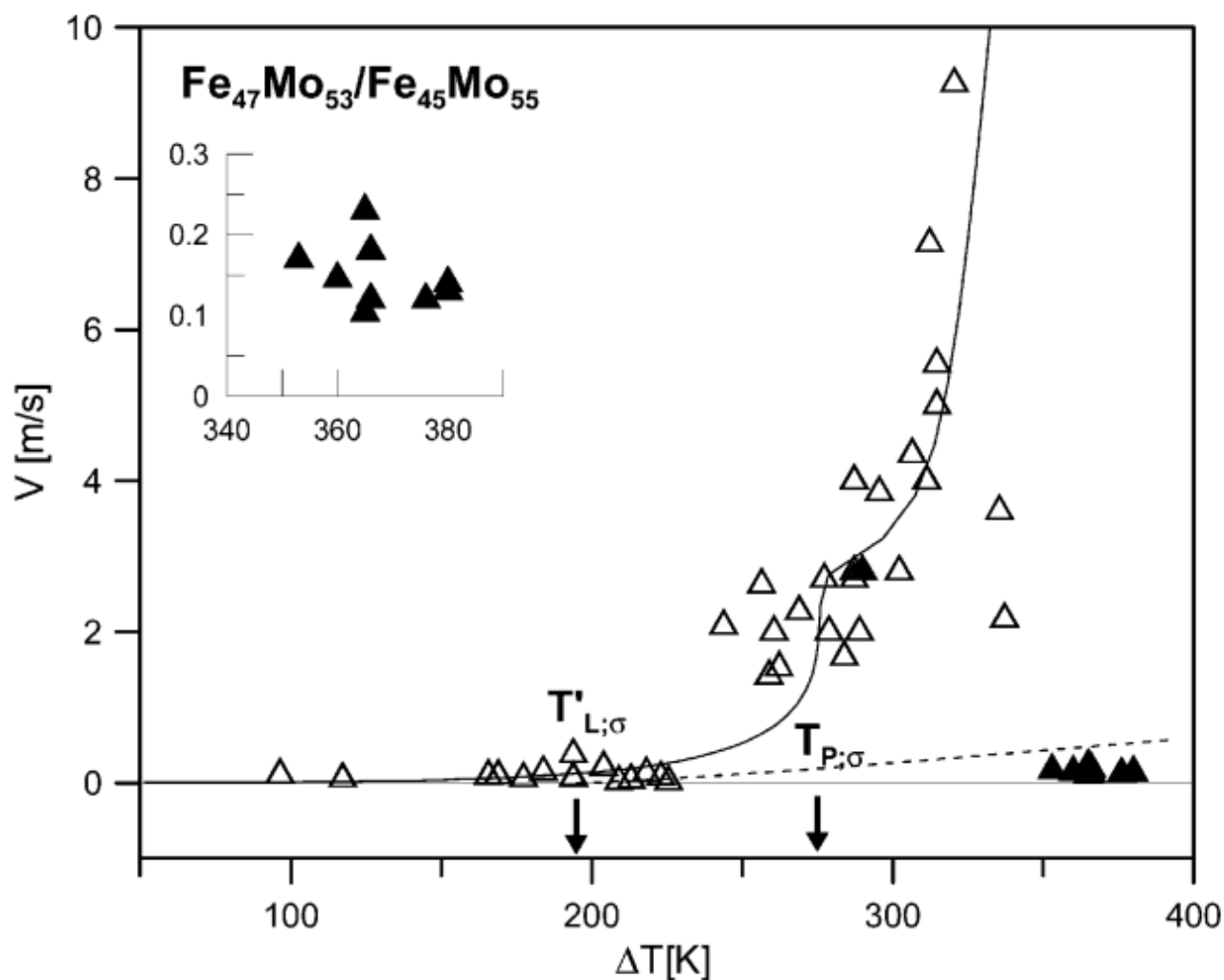
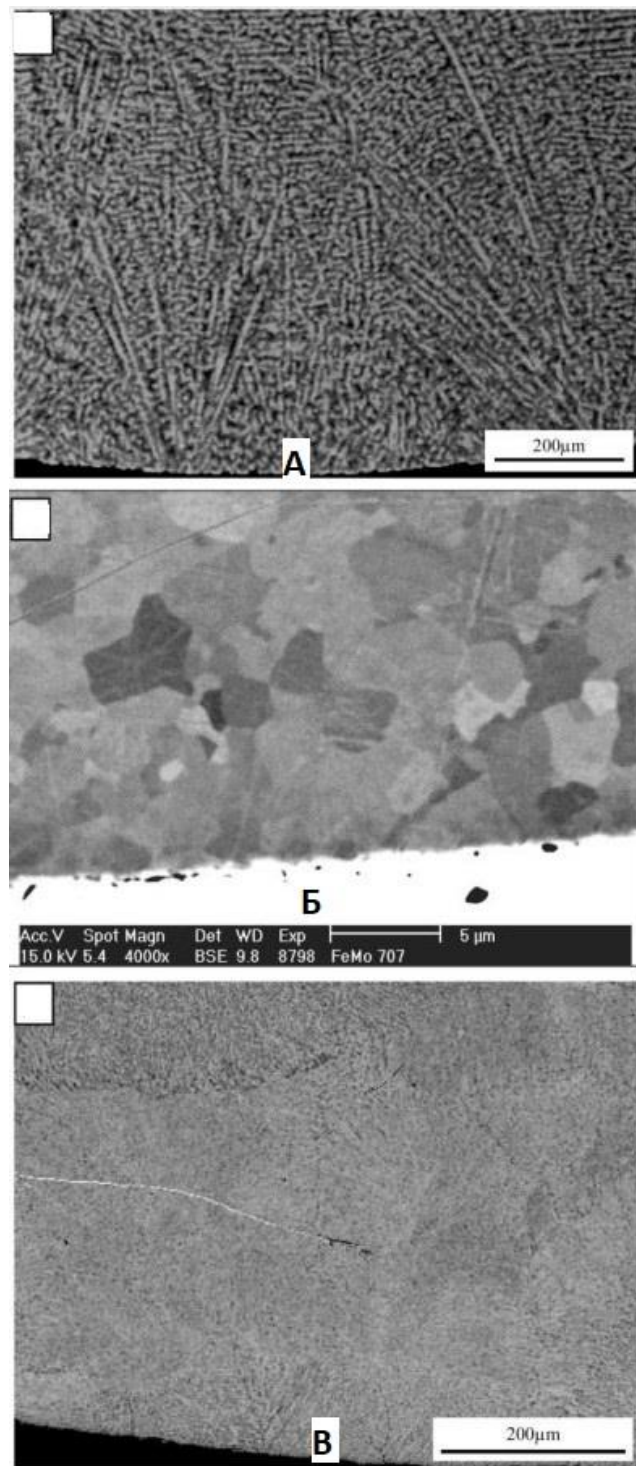


Рисунок 1.4 – Експериментально визначена швидкість росту дендритів V в залежності від температури переохолодження сплаву $\text{Fe}_{45}\text{Mo}_{55}$ (прозорі трикутники), $\text{Fe}_{47}\text{Mo}_{53}$ (зафарбовані трикутники) [7].

Мікроструктурний і фазовий аналіз досліджуваних зразків дає змогу отримати інформації про природу первинного утворення твердої фази. Згідно до діаграми стану Fe-Mo, передбачається первинний ріст ОЦК-Mo фази для $\text{Fe}_{45}\text{Mo}_{55}$ та $\text{Fe}_{47}\text{Mo}_{53}$ сплавів. На рисунку 1.5 зображені фотографії, отримані на скануючому електронному мікроскопі, мікроструктури поперечного перерізу зразків, загартованих на мідній підкладці яка покрита Sn.



А) $\text{Fe}_{45}\text{Mo}_{55}$, $\Delta T=155\text{K}$ (дендрити ОЦК-Мо (світлі) + μ -матриця; Б) $\text{Fe}_{45}\text{Mo}_{55}$, $\Delta T=165\text{K}$ (дрібнозернистий однорідний шар σ -фази); В) $\text{Fe}_{47}\text{Mo}_{53}$, $\Delta T = 340\text{ K}$ слабо утворена σ -фаза

Рисунок 1.5 – Мікрофотографії поперечного перерізу загартованих переохолоджених зразків Fe-Мо на скануючому електронному мікроскопі [7]

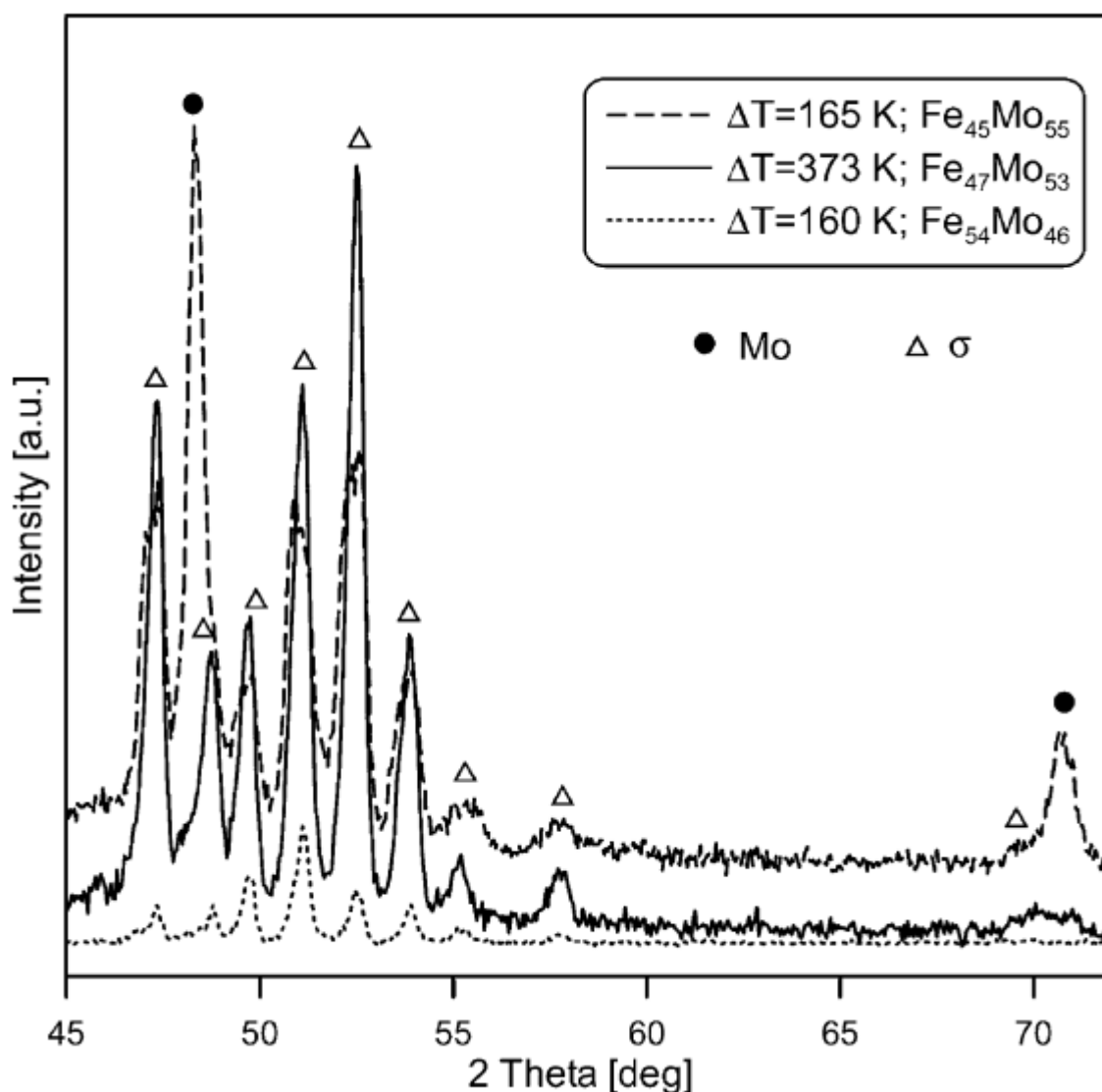


Рисунок 1.6 – Рентгенограма переохолоджених Fe-Mo сплавів. $\text{Fe}_{45}\text{Mo}_{55}$, $\Delta T=165\text{K}$ (ОЦК-Mo рефлекси); $\text{Fe}_{47}\text{Mo}_{53}$, $\Delta T = 373\text{K}$ (рефлекси σ -фази); $\text{Fe}_{54}\text{Mo}_{46}$, $\Delta T = 160\text{K}$ (рефлекси σ -фази) [7]

Результати кінетики росту та дослідження мікроструктури зразків, загартованих при контрольованих температурах переохолодження підтверджують, що в переохолоджених Fe-Mo сплавах перитектичного складу є можливим утворення і прямий ріст відповідної перитектичної фази.

Критична температура переохолодження переходу до прямого утворення перитектичної фази з переохолодженого розплаву напряму залежить від різниці температур $T_{\text{ліквідус}}$ та $T_{\text{перитектичної рівноваги}}$.

1.3.3 Дослідження дифузійної взаємодії топологічно замкненої упакованої μ -фази та складу міжфазних границь в системі Fe-Mo

На рисунку 1.7 представлено зображення діаграми фазових рівноваг системи Fe-Mo.

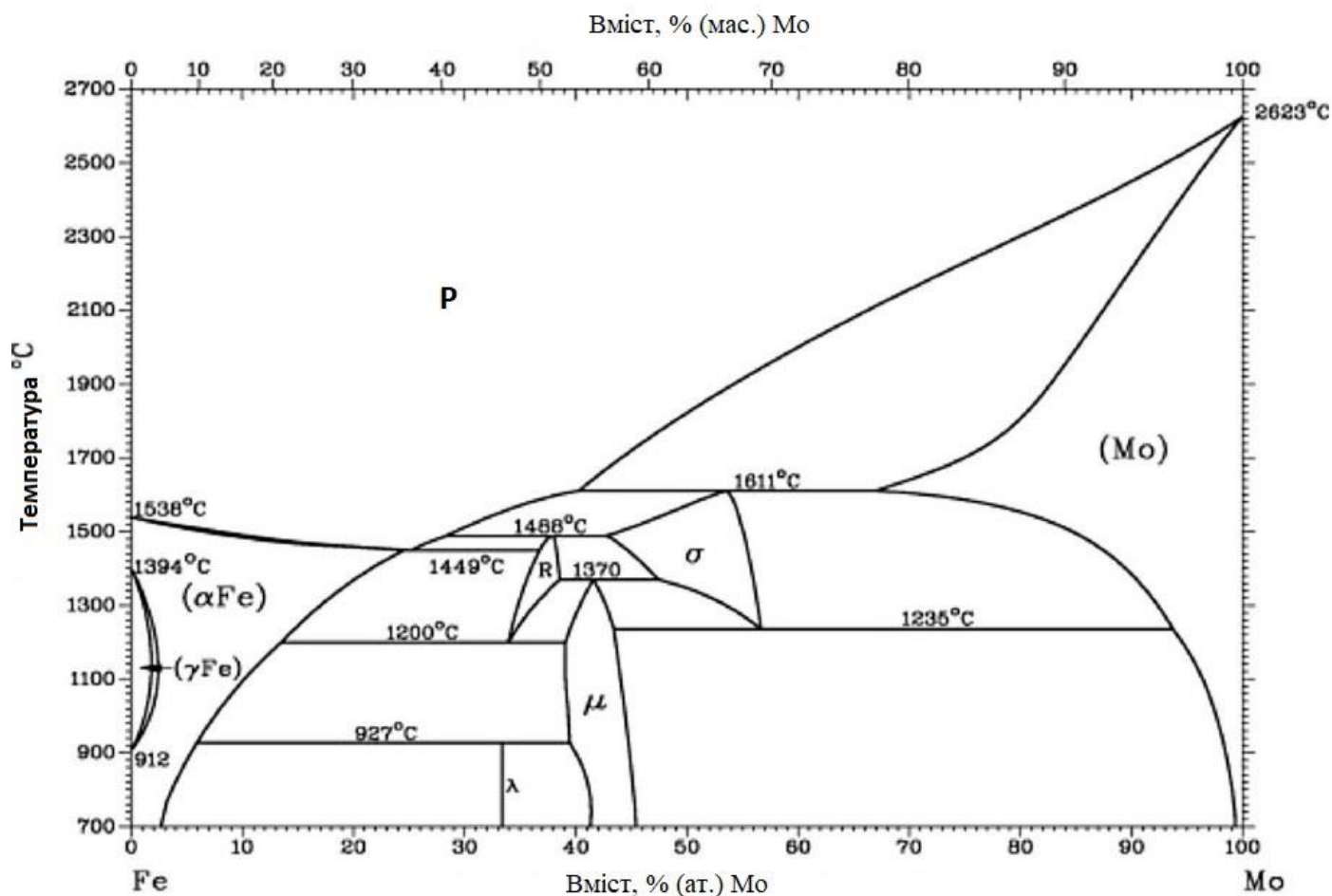
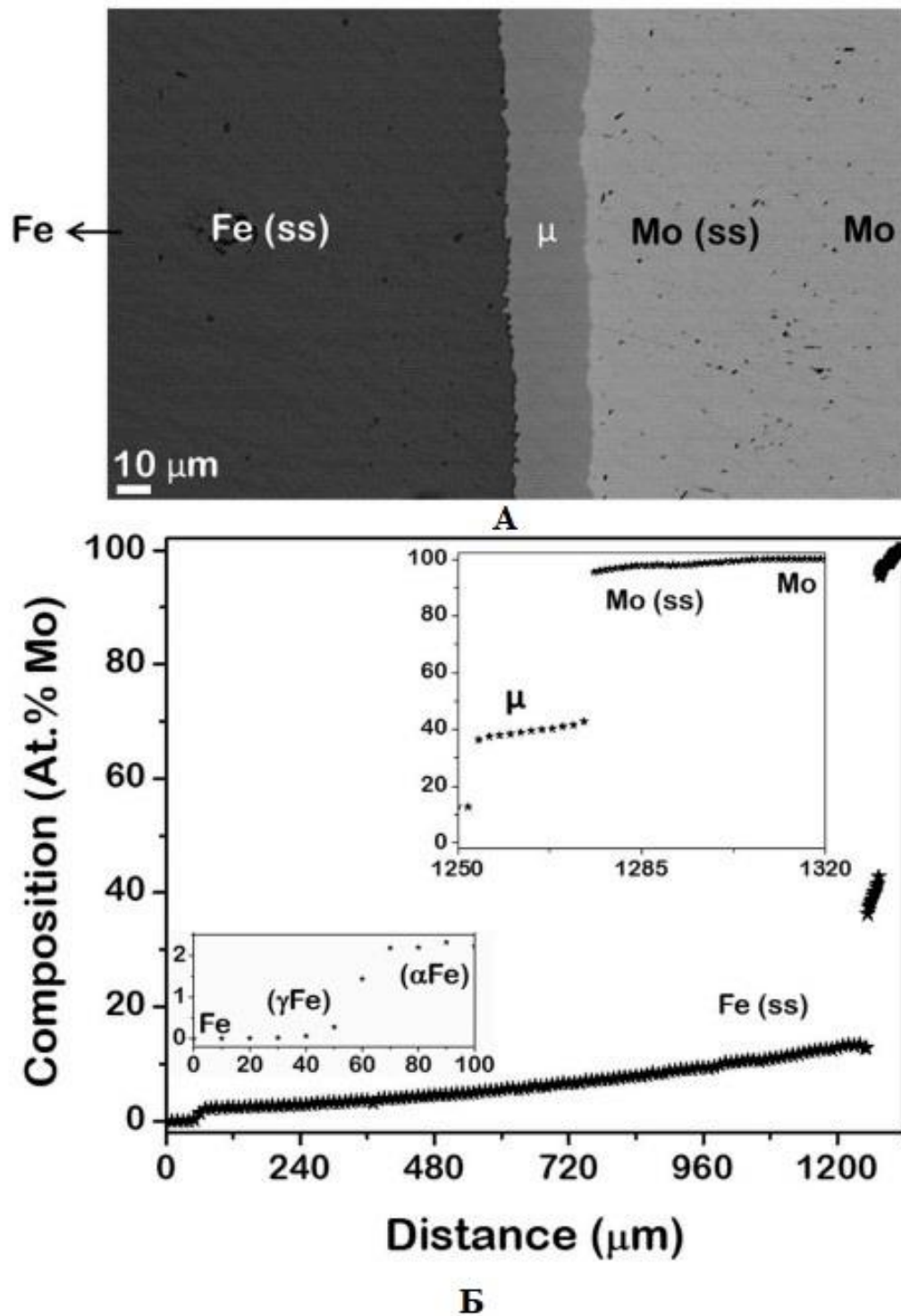


Рисунок 1.7 – Діаграма стану Fe-Mo [8]

В даній роботі [9] проведено дослідження інтегрованих коефіцієнтів взаємної дифузії та енергії активації дифузії в μ -фазі в системі Fe-Mo. Проведено аналіз складу фазових границь в зоні взаємної дифузії пар об'ємної дифузії Fe/Mo.



А) обернено розсіяне електронне зображення, що показує ріст тільки однієї інтерметалідної μ -фази в зоні взаємної дифузії; Б) профіль складу, що утворився в зоні взаємної дифузії. На вставках показано наявність γ -Fe і α -Fe, а також утворення μ -фази і частини твердого розчину Mo(Fe)

Рисунок 1.8 – Дифузійна пара Fe/Mo відпалена при 1200°C протягом 100 год.[9]

Таблиця 1.1 - Склад меж фаз (α – Fe)/ μ та μ /(Mo) у дифузійних парах Fe/Mo

Температура	Ат.% Мо, виміряне на (α – Fe)/ μ межі поділу	Ат.% Мо, виміряне на межі μ /(Mo)
1200	36,2	42,8
1150	36,9	44,1
1100	36,5	43,6
1050	36,7	43,9

У системі Fe-Mo експерименти з граничною дифузією проводять при $T=1050$ – 1200 °C. Разом із твердими розчинами Fe (Mo) та Mo (Fe) у зоні граничної дифузії зростає лише μ -інтерметалічна фаза. Висока енергія активації для дифузії в μ -фазі, яка оцінюється при високій гомологічній температурі (0,8–0,9), свідчить про те, що μ -фаза зростає за рахунок дифузії компонентів через кристалічну ґратку. Фазові граничні складові μ -фази вимірюються в зоні міждифузії Fe/Mo і виявляються різними в порівнянні зі складом, опублікованими на раніше доступній фазовій діаграмі. Це свідчить про необхідність відновлення фазової діаграми Fe – Mo зображеної на рисунку 1.7, у зв'язку з цим було обрано діаграму стану зображену на рисунку 1.1.

Згідно з [10] в системі Fe-Mo можуть утворюватись такі проміжні фази: Fe_3Mo_2 , Fe_2Mo , $FeMo$, $FeMo_2$. Але певні з них існують лише за наявності певних домішок у сплавів, так як їх виділяли хімічним методом зі сплавів з домішками.

Відповідно до однієї з останніх версій фазової діаграми Fe-Mo (рис. 1.1) поліморфізм заліза проявляється в існуванні замкнутої петлі стабільності твердого розчину на базі γ -Fe. Чотири проміжні фази входять в трифазні рівноваги перитектичного ($L+(Mo)ss \leftrightarrow \sigma$; $L+\sigma \leftrightarrow R$), перитектоїдного ($R+\sigma \leftrightarrow m$; $\alpha-Fe+\mu \leftrightarrow \lambda$) та евтектоїдного ($\sigma \leftrightarrow \mu+(Mo)ss$; $R \leftrightarrow \alpha-Fe+\mu$) типів.

Таблиця 1.2 – Фізичні властивості компонентів сплаву

Властивість / компонент	Fe	Mo
Атомна маса, а.о.м.	55,845	95,96
Молярний об'єм, см ³ /моль	7,1	9,4
Щільність, г/см ³	7,874	10,22
Радіус атому, пм	126	139
Тип кристалічної решітки	ОЦК	ОЦК
Параметри ґратки, Å	2,868*	3,147
Температура плавлення, °C	1538	2622

Перитектична R- фаза можливо так названа (rapid phase) томущо вона утворюється в перебігу достатньо швидкого охолодження при термічному аналізі. Ні в одному з чисельних попередніх досліджень вона не була знайдена. Ці обставини дозволяють ідентифікувати її як метастабільну. Аналогічна ситуація склалася і з λ - фазою. Достовірність її існування – дуже важливе питання з точки зору можливості використання сплавів, що вміщують, в числі інших, і λ фазу, як жароміцних. Дійсно, фазове перетворення при термоциклюванні α -Fe+ μ $\leftrightarrow$ λ в температурному інтервалі перетворення приводитиме не тільки до зміни форми і розмірів деталі, але й до катастрофічного знеміцнення при проходженні цього інтервалу. В [11] було досліджено фазовий склад сплавів цього концентраційного інтервалу методом рентгеноструктурного аналізу. Показано, що в сплавах, відпалених при 500–700 °C протягом місяця, ніяких інших проміжних фаз, окрім ϵ (в індексації [11]) не знайдено. Таким чином дослідження мікроскопічної кінетики зворотного перитектоїдного перетворення α -Fe+Mo)ss $\rightarrow$ μ в режимі ізотермічного спікання є актуальним як у теоретичному, так і в практичному відношенні.

1.4 Висновки та постановка задач дослідження

Було проаналізовано літературні джерела на тему дослідження особливостей мікроскопічної кінетики спікання сплаву Fe-20 % (мас.) Мо. В ході роботи було проведено аналіз діаграм стану систем з перитектоїдним перетворенням в режимах ізотермічного спікання та ізотермічної витримки.

Постановка задачі:

- а) Провести літературний огляд за темою роботи.
- б) Отримати сплави системи системи Fe-20 % (мас.) Мо та отримати зразки для досліджень.
- в) Провести мікроструктурний і рентгенофазовий аналіз отриманого сплаву
- г) Написати висновки та провести обговорення результатів по виконаній роботі.

1.5 Матеріали та методика досліджень

Для дослідження було використано зразки сплаву 80 мас. % Fe + 20 мас. % Мо. Вихідні порошки Fe (60 мкм) та Мо (60 мкм) було змішано шляхом багаторазового перетирання через сито та подальшим змішуванням в ексцентричному змішувачі типу «п'яна бочка». Пресування заготовок проводили одночасним пресуванням за допомогою гідравлічного пресу в циліндричній прес-формі при тиску 550 МПа. Заготовки розміщували в герметичних контейнерах з сталі 1X18H10T за для уникнення внутрішнього окислення. Для випалювання кисню в контейнері під час нагріву до робочих температур було використано невелику частинку магнію. Спікання зразків в контейнерах проводилось в електропечі опору при 920°C. Ізотермічне спікання проводилось впродовж 15, 30, 60, 90, 180 та 420 хв, з подальшим охолодженням у воді. Перед металографічним дослідженням було проведено підготовку зарзків на шліфовально-полірувальному обладнанні, виробник обладнання, фірма Buegler (Німеччина). Проведено електронно-мікроскопічні дослідження, для цього було

використано растровий електронний мікроскоп з енергодисперсійним рентгенівським мікроаналізатором ЕДАР. Було проведено фазовий аналіз, визначення співвідношення мас фазових складових та визначення параметрів кристалічних ґраток, дослідження проводились на рентгенівському дифрактометрі Rigaku Ultima IV. Параметри при яких проводився аналіз:

- дифрактометр працював як θ / θ дифрактометр в режимі безперервного сканування;
- напруга 30 кВ,
- сила струму 30мА;
- швидкість сканування 2 град/хв;
- діапазон сканування 30-120 град.

Результати досліджень було співставлено з діаграмами фазових рівноваг для даної системи. Визначення локальних дифузійних потоків атомів компонентів проводилось за методом локальних рівноважних концентрацій даної фази на різних міжфазних границях [12].

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Дослідження мікроструктури Fe-Mo сплаву після ізотермічного спікання

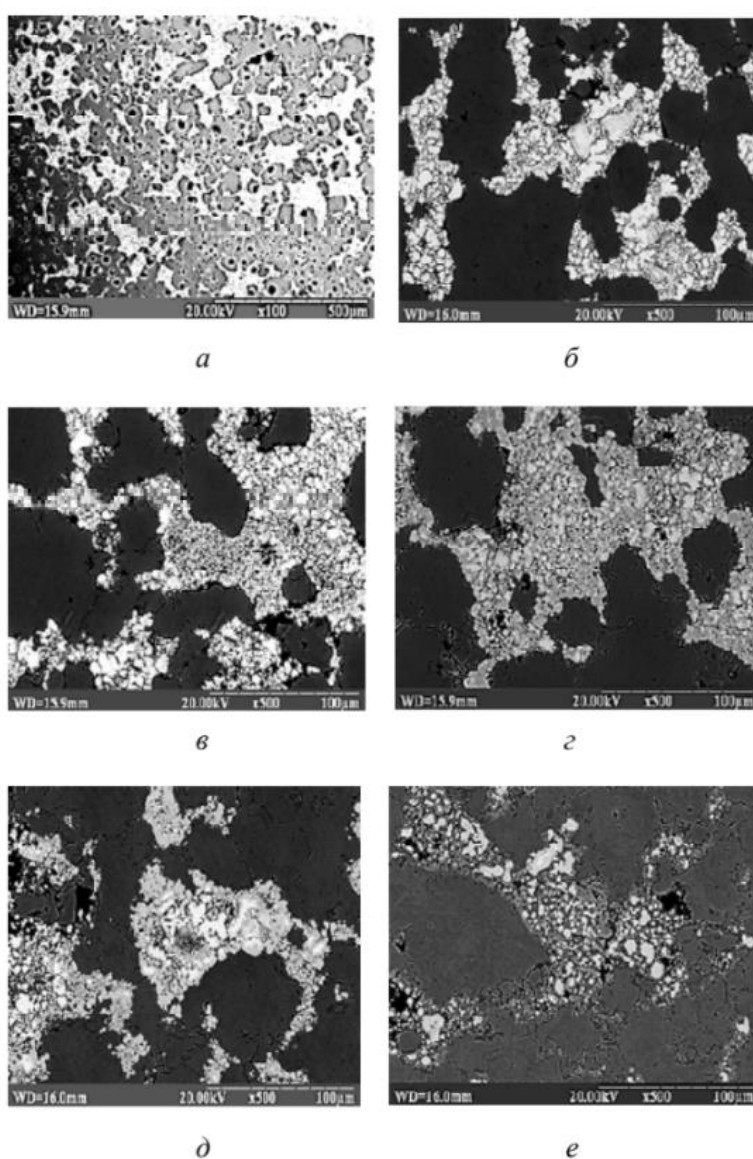
В роботі [13] проведено дослідження мікроструктури сплаву Fe-20 % (мас.) Мо після ізотермічного спікання протягом 15, 30, 60, 90, 180 та 420хв. Після спікання сплаву протягом 15хв, згідно з теорією утворення оптичного контрасту в РЕМ, структурними складовими сплаву є світлі області, що являють собою фази на основі важких компонентів, а саме структурно вільний Мо та проміжні фази на основі молібдену та заліза. Темні області відображають фази Fe та твердих розчинів на його основі (рис. 2.1 а , б та табл. 2.3). Досить важливою структурною складовою є пори (рис. 2.1 а), що локалізовані і в середині зерен Fe і по Fe/Mo інтерфейсам. З округлої форми цих пор видно, що проходить інтенсивний процес їх сферіїдизації. При більшому збільшенні (рис. 2.1 б) видно, що зерна Мо, в основному фрагментовані та розділені темно-сірими проміжками, які являють собою твердий розчин на основі заліза. Світло-сірі області відображають дрібні зерна проміжної інтерметалідної фази, середня солярна маса яких знаходиться між Fe та Мо. Виходячи з результатів мікрорентгеноспектрального аналізу (табл. 2.1) ми маємо підтвердження цього висновку. Подальше збільшення часу спіканні до 30 хв показує, процес фрагментації зерен Мо уповільнюється, а об'ємна частка частинок проміжних фаз збільшується. Округлі пори повністю зникли, залишилась лише невелика пористість по границях зерен заліза.

Через 60 хв ізотермічної витримки починається збиральна рекристалізація зерен проміжних фаз в оточенні дисперсних зерен Мо. Зерна Молібдену розташовуються між зернами Fe та інтерметаліду. Помітне певне збагачення молібденом границь зерен Fe з дифузійними порами (рис. 2.1 г) [13].

В роботі [13] вказано, що збільшення ізотермічної витримки до 180хв відображає, що в областях Fe-фази утворюються малокутові субграниці та великокутові границі, що збагачуються молібденом, це видно з рисунку 2.1 д. Проходить процес зростання залишкових зерен Мо та їх подальше об'єднання в результаті збиральної рекристалізації. Візуально помітно збільшення концентраційної неоднорідності, як зерен проміжної фази, так і α -Fe твердого розчину. В центрі (рис. 2.1 д) помічено нову

тенденцію: якщо область локалізації проміжної фази оточена зернами Мо, то там проходить процес додаткового подрібнення часток проміжної фази.

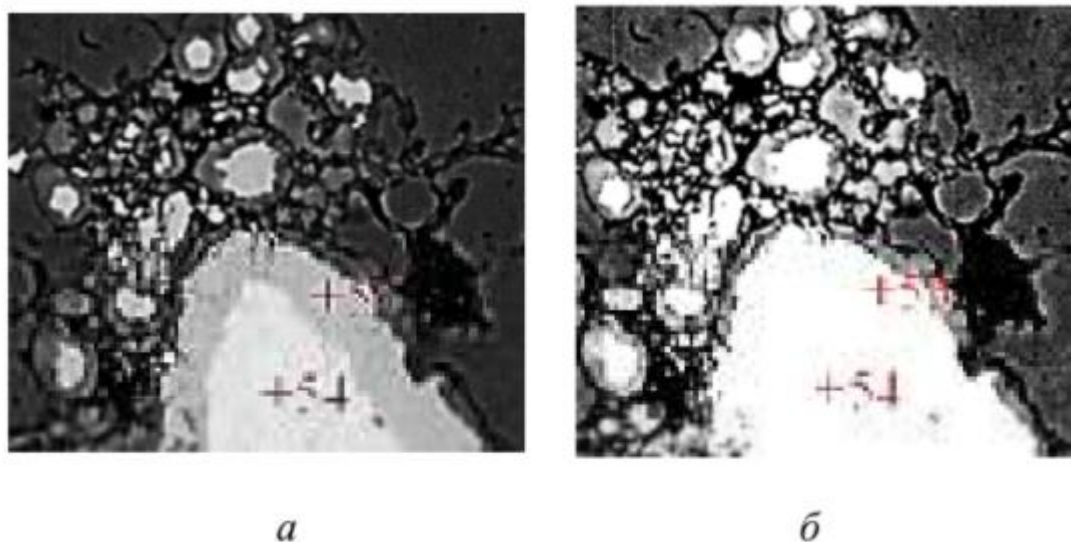
Через 7 год ізотермічної витримки зерна твердого розчину на основі Fe продовжують повільну рекристалізацію, збільшується хімічна неоднорідність цих зерен, а також, що дуже цікаво, і зерен проміжної фази (рис. 2.1 е). На рисунку 2.2 проведено додаткове редагування зображення з метою візуалізації розподілу концентрації компонентів за фазовими складовими [13].



15 хв (а,б); 30 хв (в); 1 год (г); 3 год (д); 7 год (е)

Рисунок 2.1 – Мікроструктура сплаву після ізотермічного спікання [13]

На рисунку 2.2 а границі зерен заліза та проміжної фази, що збагачені молібденом, а на рисунку 2.2 б виявлено ще одну хімічно неоднорідну проміжну фазу, яка має концентрацію молібдену меншу, ніж перша, і розташована ззовні по контуру навколо першої.



Візуалізація інтерметалідних оболонок навколо зерна Мо (а) та проміжної фази FeMo (б)

Рисунок 2.2 –Ізотермічне спікання 7 год х 1200 [13]

2.2 Фазовий склад

Результати рентгенофазового аналізу спечених зразків надано на рисунку 2.3 [13].

Варто звернути увагу на ускладненість форми інтерференційних максимумів, що спричинена наявністю прихованих інтерференційних максимумів на кутах близьких до основних, ефект потужного дифузного розсіяння на кутах в інтервалі 39– 46 град, дрейф ліній Fe в сторону менших кутів, а також утворення максимумів нової невідомої фази зі збільшенням часу ізотермічної витримки [13].

В таблиці 2.1 наведено результати фазових складових сплаву за результатами рентгенофазового аналізу.

Зміни фазового складу та параметрів кристалічних решіток під час ізотермічної витримки наведено в таблиці 2.2.

Для визначення змін розподілу концентрацій компонентів між фазами під час ізотермічного спікання результати рентгеноспектрального аналізу фазових складових було розглянуто як масив даних (рис. 2.4.)

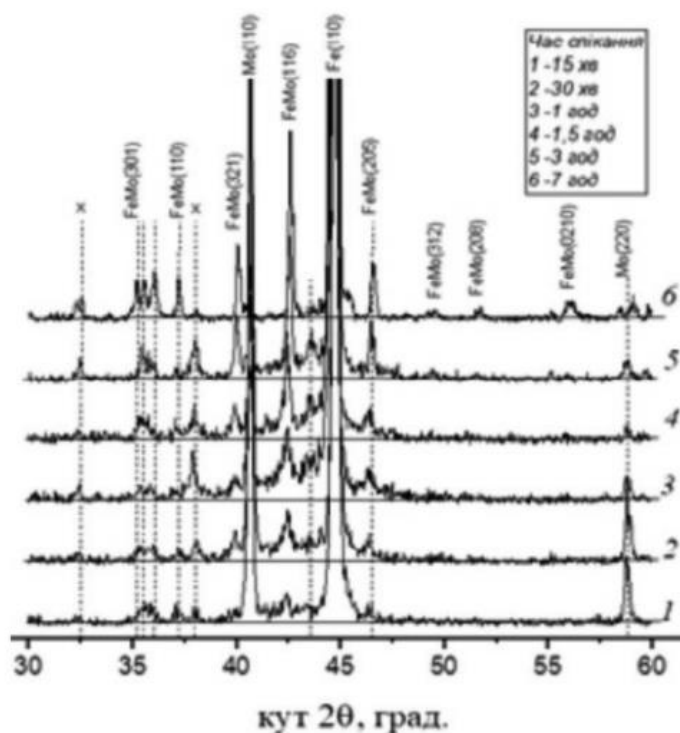


Рисунок 2.3 – Середньокутувий фрагмент дифракційної картини від продуктів ізотермічного спікання [13]

Таблиця 2.1 – Фазові складові спечених сплавів [13]

Phase name	Space group
Mo	229 : Im-3m
α - Fe	229 : Im-3m
Fe ₃ Mo	166 : R-3m,hexagonal
σ - Fe Mo	136 : P42/mnm
μ - Fe ₇ Mo ₆	166 : R-3m,hexagonal

Таблиця 2.2 – Зміна параметрів кристалічних решіток при спіканні [13]

Time	Phase name	Space group	a(Å)	b(Å)	c(Å)	V(Å ³)
1	2	3	4	5	6	7
15 min	Mo	229 : Im-3m	3.1474	3.1474	3.1474	31.18
	Fe, syn	229 : Im-3m	2.8655	2.8655	2.8655	23.53
	Fe ₇ Mo ₆	166 : R-3m, hexagonal	4.818	4.818	25.47	512.1
	Fe ₃ Mo	166 : R-3m, hexagonal	4.696	4.696	24.87	475
	Sigma FeMo	136 : P42/mnm	9.0793	9.0793	4.8105	396.55
30 min	Mo	229 : Im-3m	3.1459	3.1459	3.1459	31.134
	Fe, syn	229 : Im-3m	2.8630	2.8630	2.8630	23.467 9
	Fe ₇ Mo ₆	166 : R-3m, hexagonal	4.77	4.77	28.4	560
	Fe ₃ Mo	166 : R-3m, hexagonal	4.739	4.739	27.61	537
	FeMo	136 : P42/mnm	9.183	9.183	4.85	409
	Sigma FeMo	136 : P42/mnm	9.242	9.242	4.988	426
60 min	Mo	229 : Im-3m	3.1516	3.1516	3.1516	31.303
	Fe, syn	229 : Im-3m	2.8766	2.8766	2.8766	23.804
	Fe ₇ Mo ₆	166 : R-3m, hexagonal	4.8	4.8	25	493
	Fe ₃ Mo	166 : R-3m, hexagonal	4.7191	4.7191	24.937	480.95
	FeMo	136 : P42/mnm	9.219	9.219	4.872	414.1

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7
90 min	Mo	229 : Im-3m	3.210	3.210	3.210	33.08
	Fe, syn	229 : Im-3m	2.8843	2.8843	2.8843	23.996
	Fe ₇ Mo ₆	166 : R-3m, hexagonal	4.679	4.679	26.41	500.6
	Fe ₃ Mo	166 : R-3m, hexagonal	4.715	4.715	25.014	481.7
	FeMo	136 : P42/mnm	9.179	9.179	4.996	421
180 min	Mo	229 : Im-3m	3.0732	3.0732	3.0732	29.02
	Fe, syn	229 : Im-3m	2.8755	2.8755	2.8755	23.777
	Fe ₇ Mo ₆	166 : R-3m, hexagonal	4.756	4.756	4.756	496
	Fe ₃ Mo	166 : R-3m, hexagonal	4.7208	4.7208	26.483	511.14
	FeMo	136 : P42/mnm	9.176	9.176	4.807	404.7
	Sigma FeMo	136 : P42/mnm	9.0473	9.0473	4.82	394.5
420 min	Mo	229 : Im-3m	3.1860	3.1860	3.1860	32.339
	Fe, syn	229 : Im-3m	2.8757	2.8757	2.8757	23.781
	Fe ₇ Mo ₆	166 : R-3m, hexagonal	5.03	5.03	24.2	530
	Fe ₃ Mo	166 : R-3m, hexagonal	4.8665	4.8665	26.329	540
	FeMo	136 : P42/mnm	8.57	8.57	4.6	335

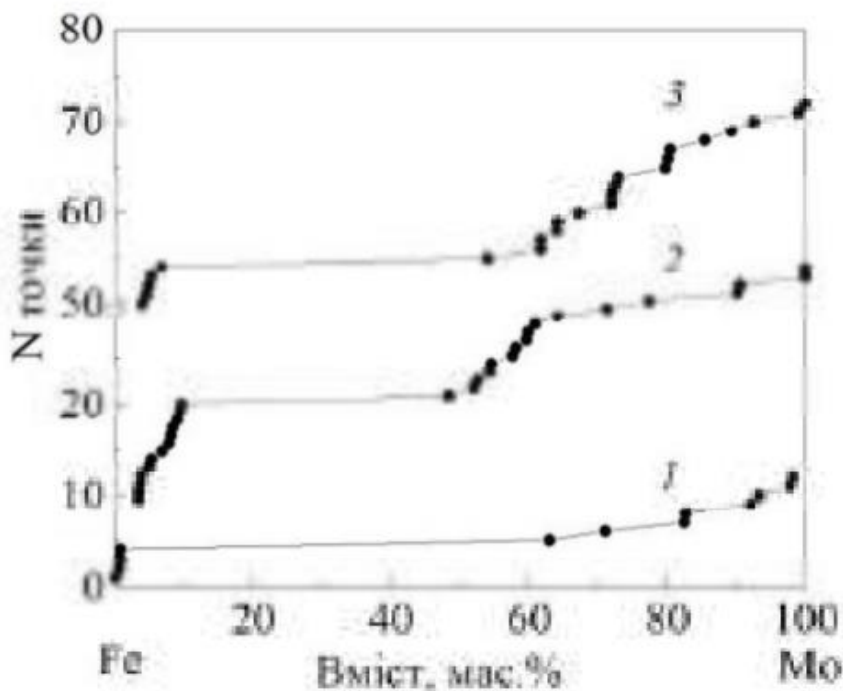


Рисунок 2.4 – Розподіл концентрацій компонентів між фазами на початковій 1 (15хв), проміжній 2 (30, 60 та 90 хв) та заключній 3 (180 і 420 хв) стадіях ізо термічної витримки [13]

З даних, наведених в роботі [13] видно, що процес ізо термічної витримки можна розділити на 3 ключових етапи:

- На першому етапі відбувається утворення твердого розчину на основі Мо і, можливо, кристали проміжних фаз.
- На другому етапі відбувається процес утворення твердих розчинів на основі Fe та Мо і проміжна фаза з 50–60 мас.% Мо. Зафіксовано утворення проміжних фаз з концентраціями від 60 до 90 мас.% Мо. Це можуть бути кристали проміжної μ - фази зі змінною локальною концентрацією по типу пересиченого твердого розчину.
- Третій, заключний етап відображає звуження концентраційної зони твердих розчинів на базі компонентів та практичне зникнення зони μ - фази і утворення широкої зони точок в інтервалі 60–90 мас.% Мо.

Саме на заключних етапах і утворюється невідома проміжна фаза (рис. 2.26), проте її концентрація, виходячи з візуальних даних, повинна бути меншою, ніж у μ -

фази. Для уточнення кінетики структуроутворення на цьому етапі необхідні додаткові дослідження [13].

Зміна масових часток фазових складових приведена на рисунку 2.5.

Через нестабільність інтерметалідних фаз (табл. 2.3), що спричинена їх концентраційною неоднорідністю, на графіку представлено масову суму цих фаз (рис 2.5).

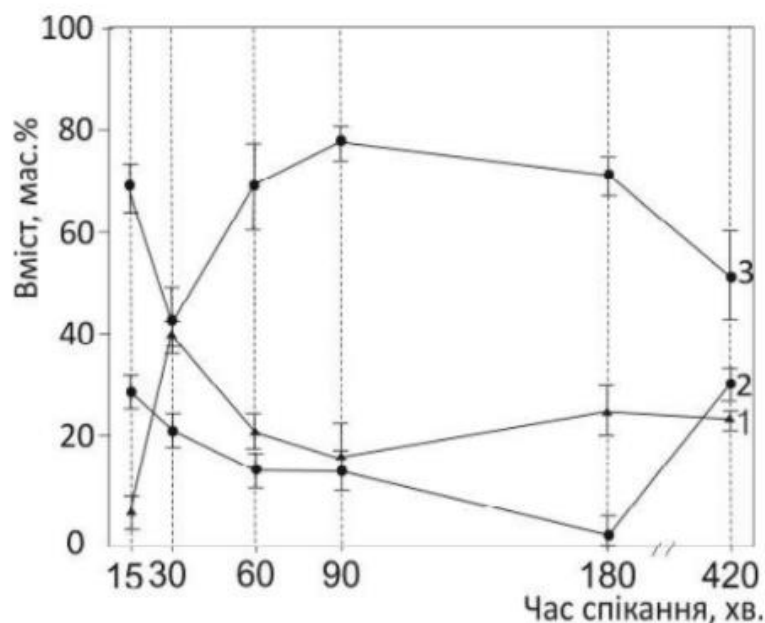


Рисунок 2.5 – Вплив часу ізоtermічної витримки на масову частку фазових складових: 1 – $\sum (Fe_xMo_y)$; 2 – Mo; 3 – α -Fe [13]

В роботі [13] відмічено, що на графіку зміни щільності (рис. 2.6) чітко розрізняються три етапи формування пористої субструктури зразків:

- збільшення пористості на інтервалі витримки 15 – 90 хв;
- швидке зменшення пористості (90–180 хв);
- етап повільного зростання пористості (180–420 хв).

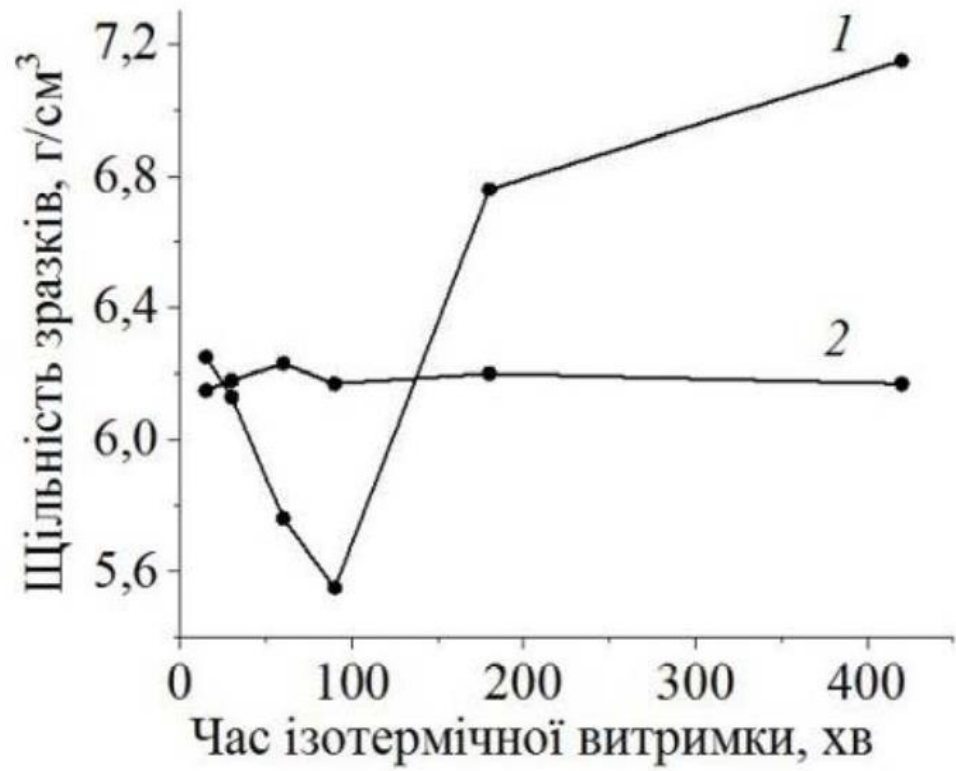


Рисунок 2.6 – Вплив часу ізотермічної витримки на щільність спечених зразків (1); 2 – щільність відповідних зразків перед спіканням[13]

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Підсумовуючи результати проведеного експерименту в роботі [13], ми можемо сформулювати послідовність фазових перетворень під час ізотермічного спікання.

Після закладання контейнерів зі зразками в піч і досягнення робочих температур проходить швидка первинна і збиральна рекристалізація попередньо нагартованих під час розмелу зерен α -Fe з наступним поліморфним перетворенням α -Fe $\rightarrow$ γ Fe.

Беручи до уваги досить швидку швидкість перетворення, що спричинена швидким нагрівом зразків в печі, розігрітої до робочої температури, очікується утворення перитектичної тріщини в зернах α -Fe, що перетворюється [14]. Так відбувається утворення додаткової складової пористості після холодного пресування зразків. Також утворюється новий інтерфейс γ -Fe/Mo, який є стабільним при цій температурі до тих пір, поки і оскільки залізо не вміщує ферито-стабілізуючий домішок Mo. Через досить короткий проміжок часу, в наслідок дифузії в приграничних шарах α -Fe і Mo фаз, утворюється твердий розчин атомів іншого компонента. При робочих температурах твердий розчин Mo в α -Fe стає нестабільним, що і стимулює проходження зворотного поліморфного перетворення γ -Fe $\rightarrow$ α Fe. При перетворенні щільно упакованої γ -фази (координаційне число $K = 12$) в пухко ($K = 8$) упаковану α -фазу вивільняються по 4 атома на елементарну комірку аустеніту. Енергія активації елементарного акту дифузії в них досить мала, адже вони не зв'язані силовим полем кристалічної ґратки. Прослідковується певна аналогія до стану атомів в рідкій фазі. Атоми утворюють стійку (у часі) роз упорядковану зону, яка є аналогієній роз упорядкованій атомній структурі розплаву. Саме цим можна пояснити пагорб дифузійного розсіяння, що утворюється на дифрактограмах на інтервалі 2θ 39–46 град (рис. 2.3) [13].

Оскільки атоми заліза мають значно менший радіус ніж атоми молібдену (табл. 2.1), що в свою чергу дає змогу атомам Fe проникати в кристалічну ґратку Mo по границям і субграницям, що спричиняє утворенню зернограничних прошарків проміжної фази та фрагментацію зерен молібдену. Цим можна пояснити швидку фрагментацію зерен молібдену після ізотермічної витримки протягом 15хв, коли основна маса зерен Mo вже була фрагментована (рис. 2,б). Перитектоїдна реакція $Mo + \alpha$ -Fe $\rightarrow$ FeMo починається в

умовах ізотермічної підкачки атомів заліза. Інтенсивність підкачки атомів заліза можна визначити за глибоким мінімумом на кривій зміни маси Fe-фази після ізотермічної витримки протягом 30хв (рис. 2.4). Перитектоїдна реакція та утворення твердих розчинів на базі протилежного компоненту пояснює втрату маси α -Fe та Mo фаз [13].

При подальшій ізотермічній витримці відбувається збільшення маси α -Fe, що спричинено прогресуючим розчиненням атомів молібдену в α -Fe фазі, атоми Mo мають значно більший атомний радіус ніж у заліза та значно більшу масу (табл. 2.2). Ізотермічна витримка до 30хв показала швидке збільшення маси проміжних фаз. Це пояснюється потужною підкачкою атомів заліза, що спричинена зворотнім поліморфним перетворенням γ -Fe $\rightarrow$ α -Fe з розупорядкованої зони в кристалічну решітку Mo. Також зафіксовано, що пористу субструктуру було перебудовано. В основному пористість утворюється за рахунок некомпенсованої дифузії і знаходиться на границі зерен α -твердого розчину з продуктами перитектоїдної реакції у вигляді щілин – рисунок 3.1.

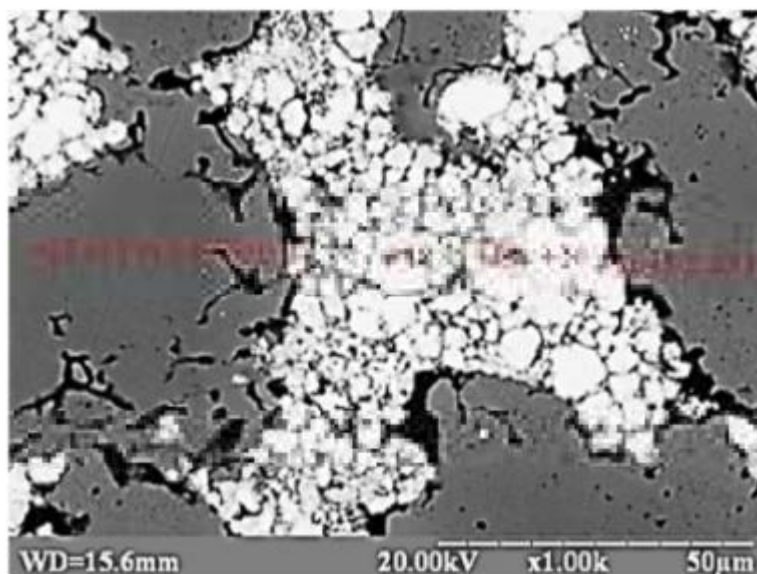


Рисунок 3.1 – Утворення дифузійних щілин навколо зерен α -твердого розчину [13]

На кутах щілин було помічено процеси сфероїдизації та їх заростання, а сферичні пори майже повністю зникли. Це пов'язано з тим, що пориста структурна складова – це активна складова структурно-фазових перетворень. Результатом їх виникнення є некомпенсована зустрічна дифузія атомів компонентів (ефект Френкеля), пори певною

мірою ізолюють зерна α - твердого розчину від перитектоїдної складової. Це призводить до того, що ці дві структурні складові ведуть себе як дві ізольовані підсистеми, які мало впливають одна на одну.

Таким чином починається третій, останній етап ізотермічного спікання. Про це говорить декілька факторів: щільність повільно зростає, відбувається збиральна рекристалізація зерен молібдену і змінюється частка фазових складових (рис. 2.1e); відбувається утворення обідків додаткових проміжних фаз навколо існуючих (рис. 2.2) за рахунок перерозподілу концентрацій в проміжних фазах. Всі ці явища є причиною невірноваженості системи впродовж тривалого часу ізотермічної витримки і обумовлюють такі технологічні проблеми як, незавершений процес фазових і структурних перетворень та сумарну остаточну пористість.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Метою даного розділу є аналіз виробничих умов, технологічних процесів або робочих місць на предмет виявлення можливих причин травматизму, профзахворювань, перенавантаження працівників. Процеси які виконуються в дослідженні супроводжуються появою шкідливих і небезпечних факторів, які можуть призводити до травм та ураження електричним струмом.

При проведенні експерименту важливо дотримуватись вимог та правил безпеки, адже виробництво виробів з твердих сплавів несе багатогранну небезпеку, на кожному етапі є окремі фактори ризику, а саме: подразнення слизових оболонок носу, горла та захворювання легеневих тканин; можливість отримання опіків в разі загорання парів бензину; можливе отримання травм при роботі на пресах; можливість бути ураженим електричним струмом у разі відсутності заземлення при роботі з пічним обладнанням; можливість отримати пошкодження різної ступені важкості в разі не своєчасної перевірки балонів та інше. Тому актуальність цього розділу є доцільна.

4.1 Небезпечні і шкідливі виробничі фактори

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності. [15]

Охорона праці включає організаційні і технічні заходи, спрямовані на усунення причин травматизму і захворювань робітників та службовців на виробництві та в науково-дослідних лабораторіях за рахунок дії шуму і вібрацій, запиленості приміщень та інших факторів. Правильний розрахунок і організація заходів по усуненню дії шкідливих факторів на організм людини є одним з основних елементів, які повинні розроблятися на самому початку науково-дослідницької роботи, оскільки від цього залежить здоров'я та ефективність роботи персоналу.

Основними факторами ризику, що утворюються в цьому експерименті, є:

- перевищення температури та перевантаження електропечі опору протягом тривалого часу призведе до спрацювання та пошкодження керуючих деталей або вплине на термін служби деталей зони нагрівання; [16]
- при натисканні на зображення неправильна робота машини з ручним тиском, то це призведе до заземлення та пошкодження машини; [16]

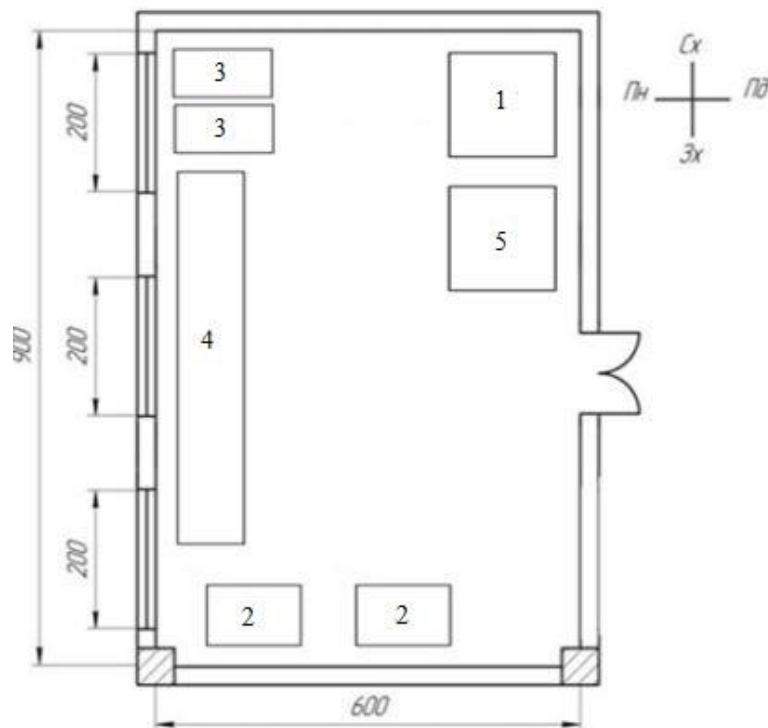
4.2 Специфікація технологічного обладнання та план приміщення

Специфікацію технологічного обладнання та оснащення наведено в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 Специфікація технологічного обладнання та оснащення вибраного приміщення

№ п.п.	Найменування	Розміри Д/Ш/В	Основні характеристики	Кількість	Позиція на рисунку
1	Млин для змішування	1500x550x1200	Електроживлення 380В, частота обертання 2920об/хв	1	1
2	Прес гідравлічний	550x500x1070	Тиск пресування 50Т	2	2
3	Електропід опору	1200x750x1700	Електроживлення 380В, Температура нагріву зразка 1183К	2	3

План приміщення в якому проводились лабораторні дослідження представлено на рисунку 4.1.



1 – кульовий млин; 2- прес гідравлічний; 3 – вакуумна дугова плавильна піч; 4 – робочий стіл; 5 – двохконусний змішувач

Рисунок 4.1 План дослідницької лабораторії

Нормативні вимоги до встановлення обладнання щодо об'єму і площі приміщення на 1 працівника та місця розташування технологічного обладнання наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 Реальні та нормативні характеристики приміщення і розміщення технологічного обладнання

№	Параметр приміщення	Реальне значення лабораторія 022	Реальне значення кабінет 112	Нормативні значення
1	Площа на 1 працюючого	27 м ²	20 м ²	4,5 м ²
2	Об'єм на 1 працюючого	121,5 м ³	70 м ³	15 м ³
3	Мінімальна ширина проходу	2,5 м	2 м	1,5 м

У цих приміщеннях працює 2 людини.

4.3 Оцінка ключових небезпечних та шкідливих виробничих факторів і розроблення заходів поліпшення (нормалізації) умов праці при виконанні роботи (технологічного процесу, робочої операції)

Механічні небезпеки і шкідливості. Даний тип небезпеки присутній при виконанні процесу пресування порошку. Під час пресування зразка, він знаходиться під впливом високого тиску, також високий тиск присутній в гідроприводі.

Шкідливі і небезпечні фактори під час виконання цього процесу – можливе руйнування місць з'єднань гідроприводу, руйнування зразка під час пресування.

Технологічні заходи: використання екрану, який запобігає розлітання уламків зруйнованого зразка; датчик тиску в гідроприводі та запобіжник перевищення тиску, який автоматично зупинить процес пресування при перевищенні максимального значення тиску.

Теплові небезпеки. Даний тип небезпеки присутній під час спікання сплавів. Під час спікання сплаву в електропечі опору, зразки нагріваються до дуже високих температур, а разом з ними і поверхня печі.

Шкідливі і небезпечні фактори при плавленні сплавів – Підвищена температура деталей, крім небезпеки опіків і підвищення температури повітря, шкідливо діє на ізоляційні матеріали, та може спричинити вибух або пожежу.

Організаційні заходи: Праця людини під час роботи з піччю становить 15-20 хв.

Технологічні заходи: Використання захисних екранів, які забезпечують тепловідвід від поверхні печі, та не дають їй нагріватись. Використання датчиків сили струму, та запобіжників, які в разі перевищення певного значення сили струму автоматично зупиняють роботу печі, що запобігає плавленню електроізоляції, вибуху та пожежі.

Підвищений рівень вібрацій та шуму. Даний тип небезпеки присутній під час змішування компонентів порошку в планетарному плинні. Швидкість обертання

барабану становить 2920 об/хв, це спричиняє вібрації, та високий рівень шуму. Нормовані параметри шуму визначаються ДСНЗ.3.6.037-99 [17]

Технологічні заходи: Використання захисного кожуха на корпусі установки, який значно зменшує вібрацію, та поглинає шум.

Організаційні: Використання шумопоглинальних навушників дозволяє працювати в умовах підвищеного рівня шуму.

Недостатня освітленість. Робота проводилась в спеціалізованій лабораторії, та освітленість відповідала нормам, кількість світла, що потрапляє з вулиці та з ламп освітлення є цілком достатньою та відповідає вимогам освітленості робочого місця. Нормовані параметри природного і штучного освітлення визначаються ДБН В.2.5-28-2006 [18]

4.4 Електробезпека

4.4.1 Загальні вимоги до електробезпеки

Електротехнічні вироби з точки зору безпеки повинні відповідати вимогам ПУЕ-2017 [19].

Для захисту від ураження струмом в аварійному режимі застосовують: заземлення, вимикання, подвійну ізоляцію. Заземлення застосовують завжди при живленні від мереж з ізольованою нейтраллю та за наявності мережі з глухозаземленою нейтраллю при напрузі понад 1000 В.

У печі для спікання сплавів використовуються елементи електроживлення, що запобігають ураженню електричним струмом та виходу з ладу елементів установки:

Захисне вимикання — високонадійна швидкодіюча система захисту, яка застосовується в пересувних електроустановках, які використовують як генератор з ізольованою нейтраллю, а також в інших випадках, коли умови експлуатації потребують високого рівня безпеки.

Головний автоматичний вимикач – призначений для відключення під навантаженням електричного ланцюга, по якій протікає струм високої напруги. На діючих електропечах застосовують масляні вимикачі, у яких електрична дуга, що виникає при відключенні вимикача під навантаженням, гаситься маслом. Масляні вимикачі автоматично відключають електропіч, коли сила струму перевищує встановлену, наприклад у моменти коротких замикань, при обвалі шихти в процесі плавлення, коли електрод безпосередньо стикається з металом.

Автоматичний захист – здійснюється вмиканням у ланцюг захисних реле (реле максимального струму, реле мінімальної напруги, реле максимальної напруги). Дуже часто при роботі електропечі відбуваються замикання у зв'язку із зіткненням електродів із шихтою. Подібні замикання ліквідуються автоматичними регуляторами, що піднімають електроди. Захисна апаратура вимикає піч тільки при тривалому замиканні, наприклад коли шматок шихти потрапив між електродами.

4.4.2 Вимоги до експлуатації електричного обладнання

У розділі необхідно надати характеристику лабораторного приміщення в якому є мережа зі струмом напругою 220 В, який використовуються в печах для спікання, мікроскопах тощо.

Щоб під час роботи запобігти ураженню електричним струмом потрібно:

- здійснити перевірку електричної системи перед експлуатацією устаткування, задля виявлення пошкоджень;
- перед використанням уважно прочитати інструкцію з обладнання;
- дотримуватись лабораторних вимог;
- не використовувати обладнання з порушенням правил

4.5 Вимоги до безпеки в надзвичайних ситуаціях

До видів небезпеки, які можуть статися на виробництві, належать: пожежа; вибух (усередині обладнання, будівлях або в навколишньому середовищі); розрив або руйнування обладнання; викид шкідливих речовин; сполучення перелічених видів небезпеки [20,21]. З метою запобігання виникненню та ліквідації надзвичайних (аварійних) ситуацій на підприємстві має бути план локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій у відповідності до положення [20].

Для евакуації персоналу під час виникнення пожежі передбачено план евакуації, який наведено на рисунку 4.2.

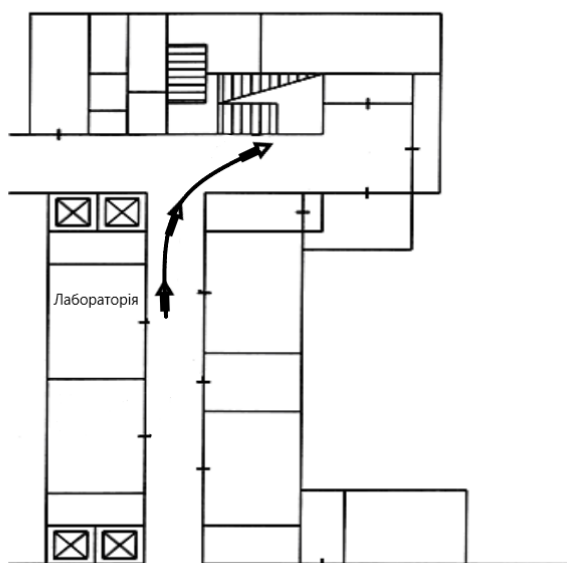


Рисунок 4.2 План евакуації з приміщення

4.5.1 Пожежна безпека

Основною причиною пожежі в лабораторії може слугувати: коротке замикання, незаконне використання електрообладнання, використання відкритого вогню та пилу

тощо. Щоб уникнути пожеж, необхідно забезпечити місцеву вентиляцію обладнання, а пірофорний матеріал зберігати в герметичній металевій ємкості.

У лабораторії заборонено:

- куріння;
- використання легкозаймистих матеріалів навколо обладнання;
- перевищення часу робочого дня;
- використовувати обладнання, не пов'язане з експериментом;
- зберігати горючі речовини, такі як алкоголь, бензин та промислова олія без захисного середовища.

Пожежна безпека забезпечується:

- запобіганням спалаху ізоляції при КЗ за рахунок максимального струменевого захисту;
- запобіганням утворення горючого середовища за рахунок надійної герметизації обладнання, обмеженням застосування і зберігання горючих та вибухонебезпечних речовин;
- застосування пожежної сигналізації з датчиком;
- використанням вогнегасників.

4.5.2 Вимоги до безпеки в аварійних ситуаціях

У випадку пробоя електричної напруги на корпус електропечі опору необхідно вимкнути рубильник і довести до відома про це майстра або начальника дільниці.

У випадку потрапляння кого-небудь під дію напруги, необхідно від'єднати обладнання від мережі, покласти потерпілого на дерев'яний настил, підклавши під

голову ватник, викликати лікаря за телефоном 103 і, якщо це необхідно, надати потерпілому першу медичну допомогу.

У випадку загорання електропечі опору необхідно вимкнути рубильник і приступити до гасіння пожежі за допомогою вогнегасника.

Кожен робітник і службовець, що виявив пожежу або загорання, зобов'язаний:

- негайно сповістити про це в службу пожежної безпеки за телефоном 101;
- приступити до гасіння вогню наявними в цеху (на ділянці) засобами пожежогасіння (вогнегасник, пісок, пожежний кран тощо);
- викликати до місця пожежі посадових осіб (начальника цеху, ділянки).

У випадку одержання травми необхідно довести до відома про це майстра, начальника ділянки та звернутися в медпункт.

4.6 Висновки за розділом

Детально розглянувши технологічні операції, що були проведені у ході виконання магістерської дисертації, з точки зору охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, можна зробити висновок, що всі технологічні операції відповідають нормам, що встановлені законодавством. Спеціальне обладнання має необхідні захисні деталі та елементи: сталевий кожух, попереджувальні написи, захисне вимкнення та інше. Частина процесів повністю автоматизована. Устаткування виконане з якісних матеріалів. Самі технологічні процеси максимально знижують можливий контакт із небезпечними речовинами. Проаналізовано вимоги безпеки в надзвичайних та аварійних ситуаціях.

5 ЕНЕРГЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

Витрати енергії для санітарно-технічних пристроїв (вентиляції, опалення) визначають у відповідності з вимогами по охороні праці та техніки безпеки.

Витрати енергії на компресійні і вакуумні установки розраховують на основі потужності встановлених у цеху пристроїв та режимах їхньої роботи.

Обсяг витрат електроенергії визначають на підставі вибору і розрахунку кількості технологічного обладнання, використання його встановленої потужності при запланованому режимі роботи:

$$\mathcal{E} = M\Phi_0\eta_{\text{зг}}K_1K_2, \quad (5,1)$$

де M – встановлена потужність обладнання, кВт;

Φ_0 – річний фонд часу роботи обладнання, год.;

$\eta_{\text{зг}}$ – коефіцієнт завантаження обладнання;

K_1 – коефіцієнт одночасності роботи (приймається рівним: для електричних печей – 0,6; для електродвигунів – 0,3; для генераторів височастотного нагріву – 0,8);

K_2 – коефіцієнт використання потужності (приймається рівним 0,7).

Витрати енергії піднімально-транспортного обладнання визначають виходячи з його потужності.

В умовах малотоннажних виробництв транспортувальне обладнання вибирають разом з основним, а його характеристики вносять у відомість основного обладнання.

Витрати енергії для санітарно-технічних пристроїв (вентиляції, опалення) визначають у відповідності з вимогами по охороні праці та техніки безпеки.

Витрати енергії на компресійні і вакуумні установки розраховують на основі потужності встановлених у цеху пристроїв та режимах їхньої роботи.

Розрахунок витрат енергії на освітлення для кожного приміщення виконують на основі загального плану цеху. Вихідні данні для розрахунку: площа приміщення, необхідна освітлюваність і режим роботи освітлювальних пристроїв.

Витрати енергії на освітлення розраховують за формулою:

Таблиця 5.2 – Витрати електроенергії на освітлення

Найменування споживача	Освітлювальна площа, м ²	Поверхня щільність теплового потоку, Вт/м ²	Кількість годин горіння на рік, год	Коефіцієнт одночасності горіння	Річні витрати електроенергії, кВт·год
Виробнича лабораторія	54	11	2500	0,8	1190
Усього витрат, кВт·год					1190

6 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

6.1 Науково-технічна ефективність НДР

Практика порошкової металургії показала, що при спіканні багатокомпонентної порошкової суміші спостерігається складна картина концентраційної, фазової та структурної неоднорідності спеченого продукту. Це обумовлено різним типом реакцій фазових перетворень на різних між фазних інтерфейсах (евтектоїдна, перитектоїдна і т.і.), різними коефіцієнтами гетеродифузії атомів різних компонентів в різних матричних фазах, нарешті різними швидкостями рекристалізації зерен різних фаз при температурі спікання. В результаті спостерігається типова картина: на одних міжфазних інтерфейсах міжфазна реакція ледь означилась, в той час, коли на інших границях вона скінчилася і продукти цієї локальної реакції вже проходять стадію збиральної рекристалізації. При цьому втрачається основна перевага продуктів порошкової металургії – їх керована дрібнозернистість. Особливо гостро стоїть ця проблема в жароміцних та жаростійких сплавах з легуючими добавками з високою температурою плавлення. Ці обставини обумовлюють актуальність задачі дослідження мікроскопічної кінетики ізотермічного спікання Fe-Mo сплаву.

6.2 Розрахунок витрат на проведення НДР

6.2.1 Витрати на оплату праці

Вартість праці цього експерименту (табл. 6.1) – це основна зарплата учасників (без урахування бонусів та інших витрат на прибуток).

Таблиця 6.1 Розрахунок витрат на оплату праці

Посада виконавців теми	Планова трудоємність, люд-днів	Заробітна плата, грн		
		Посадовий місячний оклад	Середньоденна зарплата	Усього за виконавцями
Професор кафедри	65	19438	916,89	59597,64
Провідний інженер	20	9718	458,39	9167,92
Інженер-дослідник	80	9238	435,75	34860,37
Разом оплата праці з теми				103625,94

6.2.2 Єдиний соціальний внесок

Єдиний соціальний внесок (ЄСВ) – це обов’язкове відрахування на загальнодержавне соціальне страхування. З 1 січня 2016 р. ставка ЄСВ складає 22 %. Базою для нарахування ЄСВ слугують загальні витрати на оплату праці по темі (підсумок по табл.6.2).

$$\text{ЄСВ} = \text{ЗП} \cdot 0,22, \quad (6.1)$$

де ЗП – загальні витрати на оплату праці по темі.

Наразі ЄСВ буде становити:

$$\text{ЄСВ} = 103625,94 \cdot 0,22 = 22797,71 \text{ грн.}$$

6.2.3 Матеріали, необхідні для проведення досліджень

В даній статті враховують вартість усіх видів матеріалів, необхідних для проведення НДР, з вирахуванням вартості зворотних відходів. Розрахунки зводять за формою у таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Розрахунки витрат на матеріали

Найменування матеріалу	Стандарт, технічні умови	Одиниця виміру	Кількість	Ринкова ціна з одиницю, грн	Сума, грн
Порошок заліза ПЖВ 5	ГОСТ 9849-86	кг	0,1	25,00	2,5
Порошок Мо	ТУ 48-19-316-80	кг	0.05	1200	60
Дистильована вода	ГОСТ 6709-72	л	1	21,6	21,6
Загальні витрати на матеріали					84,1

Матеріал, необхідний для цього дослідження, невеликий і не потребує транспортування. Тому транспортних витрат для матеріалів немає.

6.2.4 Енергоносії для проведення досліджень

Всі роботи проводились безпосередньо в кафедрі високотемпературних матеріалів та порошкової металургії, тому витрати на енергоносії не передбачені.

6.2.5 Витрати на спеціальне обладнання

В роботі використовується вже існуюче обладнання: Рентгенівський дифрактометр (UltimaIV); вакуумна дугова плавильна піч (VDP); скануючий електронний мікроскоп з енергодисперсійним мікроаналізатором РЭМ 106И; горизонтальний металографічний мікроскоп МІМ-8; енергодисперсійний рентгенофлуоресцентний аналізатор “EXPERT 3L”; МНВ-1000 цифровий тестер твердості по Вікерсу; млин для змішування; різальний верстат; обладнання для встановлення зразків; шліфувально-полірувальний верстат та прес гідравлічний. Все обладнання належить кафедрі порошкової металургії кафебри

високотемпературних матеріалів та порошкової металургії, тому витрати на аренду обладнання не передбачені.

6.2.6 Вартість послуг сторонніх організацій

Дана робота не потребувала оренди дослідницьких установок, адже всі вони були в наявності. Зразки виготовлялись безпосередньо в лабораторіях кафедри високотемпературних матеріалів та порошкової металургії, тому витрати на послуги сторонніх організацій не передбачені

6.2.7 Витрати на службові відрядження

Всі роботи проводились безпосередньо в лабораторіях кафедри високотемпературних матеріалів та порошкової металургії, тому витрати на відрядження не передбачені.

6.2.8 Інші прямі невраховані витрати

У цій статті поєднуються всі витрати на проведення НДР, що не увійшли до попередніх статей. При проведенні роботи інші прямі витрати приймаємо на рівні 10 % від суми врахованих витрати на виконання НДР.

$$I_B = (ЗП + ЄСВ + V_M) \cdot 0,1, \quad (6.2)$$

Наразі I_B буде становити:

$$I_B = (103625,94 + 22797,71 + 108,1) \cdot 0,1 = 12650,77 \text{ грн}$$

6.2.9 Накладні витрати

Ця стаття включає витрати, пов'язані з управлінням організацією-виконавцем теми, витрати на винахідництво і раціоналізацію; витрати на амортизацію основних засобів; витрати на науково-технічну інформацію; витрати на забезпечення нормальних умов праці і техніки безпеки; витрати на оплату послуг банків; податки, збори та інші обов'язкові платежі і витрати тощо.

Розглянемо варіант розрахунку накладних витрат пропорційно сумі прямих витрат на рівні 20 %.

$$H_B = (3П + \text{€CB} + B_M + I_B) \cdot 0,2, \quad (6.3)$$

Наразі H_B буде становити:

$$H_B = (103625,94 + 22797,71 + 108,1 + 12650,77) \cdot 0,2 = 27831,71 \text{ грн.}$$

6.2.10 Розроблення планової калькуляції кошторисної вартості теми

Усі витрати, понесені на виконання роботи (табл. 6.3):

Таблиця 6.3 – Планова калькуляція кошторисної вартості НДР

Найменування статей витрат	Сума, грн	Обґрунтування
1	2	3
1.Витрати на оплату праці	103625,94	Відповідно до розрахунків
2.Єдиний соціальний внесок	22797,71	22,0 % від загальних витрат на оплату праці
3.Матеріали для проведення досліджень	84,1	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)

Продовження таблиці 6.3

1	2	3
7.Витрати на службові відрядження	–	Відповідно до розрахунків (у нашому випадку не передбачено)
8.Інші невраховані прямі витрати по темі	12650,77	10 % від суми прямих розрахованих витрат по темі
9.Накладні витрати	27831,71	Відповідно до нормативів організації-виконавця теми (у нашому випадку 20 % від суми прямих витрат)
10.Усього витрат по темі	166990,23	Сума попередніх статей

6.3 Науково-технічна ефективність НДР

Розрахунок очікуваного економічного ефекту НДР необхідно для визначення доцільності проведення даної роботи. Проте він може бути розрахований лише по НДР, які безпосередньо спрямовані на створення нових матеріалів, покращення параметрів якості продукції, а також створення нових конструкцій.

Для визначення річного економічного ефекту скористаємося бальною системою оцінювання економічної ефективності за наступними показниками:

- важливість розробки (K_1);
- можливість використання результатів розробки (K_2);
- теоретичне значення та рівень новизни (K_3);
- складність дослідження (K_4).

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 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 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 тощо – 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 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) вираховується перемноженням коефіцієнтів.

$$Б = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4$$

В нашому випадку бальна оцінка ефективності згідно з таблицею 6.4 становить:

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

Таблиця 6.4 – Бальна оцінка ефективності НДР

Показник оцінки ефективності НДР	Умовне позначення показника	Характеристики даної роботи	Кількість балів
1. Важливість розробки	K_1	Робота виконується за угодою про науково-технічне співробітництво	3
2. Можливість використання результатів розробки	K_2	Результатами розробки можуть користуватися в масштабах однієї галузі	8
3. Теоретична значимість та рівень новизни розробки	K_3	Отримана інформація формує принципово нові уявлення, які не були відомі раніше	8
4. Складність дослідження	K_4	Робота виконується декількома підрозділами, витрати від 100 000 до 200 000 гривень	7

Умовний ефект НДР розраховується за формулою:

$$E_{\text{НДР}}^y = 500 \cdot B - E_n \cdot V_{\text{НДР}}, \quad (6.4)$$

де 500 – умовна вартість одного балу;

E_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності (може бути в межах 0,1 – 0,3);

$V_{\text{НДР}}$ – сумарні витрати на виконання НДР (підсумок табл. 6.3);

У нашому прикладі умовний ефект виконання НДР буде становити:

$$E_{\text{НДР}} = 500 \cdot -0,2 \cdot 166990,23 = 638601,95 \text{ грн.}$$

Економічна ефективність НДР визначається коефіцієнтом умовної економічної ефективності E_e . Він є відношенням умовного ефекту виконання НДР до сумарних витрат на виконання НДР та розраховується за формулою:

$$E_e = \frac{E_{\text{НДР}}}{B_{\text{НДР}}}. \quad (6.5)$$

У нашому прикладі E_e буде становити:

$$E_e = \frac{638601,95}{166990,23} = 3,82$$

Коефіцієнт умовної економічної ефективності науково-дослідної роботи становить 3,82 (перевищує одиницю), що свідчить про доцільність її виконання

7 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

7.1 Актуальність

Практика порошкової металургії показала, що при спіканні багатокомпонентної порошкової суміші спостерігається складна картина концентраційної, фазової та структурної неоднорідності спеченого продукту. Це обумовлено різним типом реакцій фазових перетворень на різних між фазних інтерфейсах (евтектоїдна, перитектоїдна і т.і.), різними коефіцієнтами гетеродифузії атомів різних компонентів в різних матричних фазах, нарешті різними швидкостями рекристалізації зерен різних фаз при температурі спікання. В результаті спостерігається типова картина: на одних міжфазних інтерфейсах міжфазна реакція ледь означилась, в той час, коли на інших границях вона скінчилася і продукти цієї локальної реакції вже проходять стадію збиральної рекристалізації. При цьому втрачається основна перевага продуктів порошкової металургії – їх керована дрібнозернистість. Особливо гостро стоїть ця проблема в жароміцних та жаростійких сплавах з легуючими добавками з високою температурою плавлення.

Ці обставини обумовлюють актуальність задачі дослідження мікроскопічної кінетики ізотермічного спікання Fe-Mo сплаву.

7.2 Мета і завдання стартап проекту

Метою розділу є формування інноваційного мислення, підприємницького духу та формування здатностей щодо оцінювання ринкових перспектив і можливостей комерціалізації основних науково-технічних розробок, сформованих у попередній частині магістерської дисертації у вигляді розроблення концепції стартап-проекту в умовах висококонкурентної ринкової економіки глобалізаційних процесів. Завдання розділу полягає в маркетинговому аналізі перспектив реалізації запропонованих магістрантом науково-технічних рішень та пропозицій, оцінювання можливостей їх ринкового впровадження.

7.3 Опис ідеї стартап-проекту

В межах підпункту слід послідовно проаналізувати певні ідеї:

- а) зміст ідеї (що пропонується);
- б) можливі напрямки застосування;
- в) основні вигоди, що може отримати користувач товару (за кожним напрямком застосування);
- г) чим відрізняється від існуючих аналогів та замінників.

Таблиця 7.1 – Опис ідеї Стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
дослідження мікроскопічної кінетики ізотермічного спікання Fe-Mo сплаву	Виготовлення Fe-Mo сплаву з контрольованим вмістом, кристалічною структурою та механчними властивостями за рахунок ізотермічної витримки протягом визначеного часу	1) Дешевизна процесу; 2) Екологічна чистота процесу; 3) Покращені властивості Fe-Mo сплаву

7.3.1 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу необхідно провести аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту (технології створення товару).

Технологічна здійсненність ідеї проекту у таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

Ідея проекту	Технології і реалізації	Наявність технології	Доступність технології
дослідження мікроскопічної кінетики ізотермічного спікання Fe-Mo сплаву	Спікання в електропечі опору	Технологія наявна	Технологія доступна

За проведеними дослідженнями можна зробити висновок, що розробка та реалізація даної технології не завдасть жодних перешкод, адже дана технологія існує на ринку та доступна для реалізації.

7.4 Аналіз ринкових можливостей запуску Стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Сегмент споживачів: для аналізу попиту на ринку дослідження звузимо до рівня м. Києва.

Ринок споживачів – нішевий (вузький профіль – виробництва, які використовують матеріали з твердих сплавів).

Канали збуту: використовуються прямі канали збуту. Безпосередній контакт з потенційними покупцями через візити на підприємства та презентації товару. Контакт через тематичні та галузеві виставки та конференції. Збут через інтернет-ресурси (інтернет-магазин).

Взаємодія зі споживачами: особисті контакти, по телефону, електронній пошті. Застосування програм лояльності. Із потенційними споживачами – підтримка інформаційних інтернет-ресурсів: сайт проекту, блог новин проекту, виставки, конференції.

Для визначення актуальності вкладення грошових та матеріальних ресурсів на впровадження даної технології варто зрівняти діючу облікову ставку НБУ та середню норму рентабельності ринку (14 %). З 26.05.2018 р. НБУ прийняло рішення про зниження облікової ставки до 12,5 %. Таким чином, рентабельність ринку є вищою, що свідчить про те, що даний проект є привабливим для інвестування.

Визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл 7.3).

Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл. 7.2-7.3). Фактори в таблиці подавати в порядку зменшення значущості.

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (за моделлю п'яти сил М. Портера).

М. Портер вирізняє п'ять основних факторів, що впливають на привабливість вибору ринку з огляду на характер конкуренції. Це:

- а) конкурент, що вже є у галузі;
- б) потенційні конкуренти;
- в) наявність товарів-замінників;
- г) постачальники, що конкурують за ринкову владу;
- д) споживачі.

Таблиця 7.3 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Застосування зносостійких інструментів для обробки матеріалів	Виробництва, заводи	- Новітня техніка та технології, які застосовуються; - Швидкість та високий об'єм виготовлення продукції; - Гарантія якості;	●якість; ●допустима собівартість; ●надання чітких гарантій; ●швидкість виконання

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (табл7.4-7.5)

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення. Наприклад: зниження доходів потенційних споживачів – фактор загрози, на основі якого можна зробити прогноз щодо посилення значущості цінового фактору при виборі товару та відповідно, – цінової конкуренції (а це вже – ринкова загроза).

Таблиця 7.4 – Фактори загроз

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Загроза появи нових конкурентів	Нові конкуренти привносять у галузь нові виробничі потужності й прагнуть роздобути частку ринку збуту, тим самим, знижуючи позиційний прибуток	Знижує загальний потенціал прибутковості в галузі. Запекла конкуренція в галузі знижує прибутковість, тому що за те, щоб зберегти конкурентоспроможність, призводить до додаткових витрат (витрати на рекламу, організацію збуту, науково-дослідні й дослідноконструкторські розробки (НДДКР)).
2	Обмежений ринок	Достатня кількість продукції, яка завоювала статус бренда	Скорочення обсягів продажів у результаті порушення договірних зобов'язань.
3	Слабкий рівень технічної оснащеності	Зростання кількості потребуючої продукції, в свою чергу збільшення кількості та якості технічного обладнання	- втрати дохідності бізнесу в результаті зниження рівня репутації; - скорочення обсягів виробництва в результаті використання застарілого обладнання.

Таблиця 7.5 – Фактори можливостей

№	Фактор	Зміст можливостей	Можлива реакція компанії
1	Вихід на нові ринки або сегменти ринку	Можливості розширення виробництва, збуту.	Збільшує кількість продукції, що у свою чергу призводить до розширення виробничої діяльності
2	Розвиток НДДКР	Можливість розширення якості та швидкості вихідної продукції	Нові технології сприяють зменшенню собівартості послуги, а, відповідно, і її вартості для клієнтів; збільшенню обсягів продажу; створення/видозміна послуги.
3	Високий рівень технічної оснащеності	Можливість завербування висококваліфікаційних спеціалістів. Вихід на новий більш прибутковий ринок	Збільшення якості та кількості продукції

Перелік слабких та сильних сторін та властивостей ідеї потенційної послуги є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності та новий метод плавки дає можливість при мінімальних затратах підприємства виготовляти та випускати порівняно якісну та дешеву для клієнта продукцію.

Таблиця 7.6 – SWOT-аналіз стартап-проекту (Слабкі та сильні сторони)

Сильні сторони (S):	Слабкі сторони (W):
молодий і кваліфікований колектив; дуже широкий асортимент послуг послуга дешевша наявних на ринку аналогів	брак власного устаткування; додаткові транспортні витрати; наявність на ринку компаній, які мають своїх покупців/клієнтів, і, відповідно, добру репутацію.

Таблиця 7.7 – SWOT-аналіз стартап-проекту (Можливості та загрози)

Можливості (О):	Загрози (Т):
посилення позиції на ринку; вихід на нові сегменти ринку; збільшення різноманітності у взаємозалежних продуктах; підвищення кваліфікації персоналу в галузі сучасних технологій, менеджменту та маркетингу.	зростаюче конкурентний тиск; швидке копіювання конкурентами; поява нових конкурентів з товарами-замінниками; захвачені частки ринку іншими компаніями перешкоджають залучення клієнтів.

7.5 Розроблення ринкової стратегії проекту

Структура ринкової стратегії, тобто рішень, що визначають взаємовідносини підприємства з ринком ресурсів, багато в чому аналогічна структурі товарно-ринкової стратегії підприємства. Так само як і у випадку товарно-ринкової стратегії, мова тут йде про двох сферах стратегічних рішень: по-перше, рішень, що визначають поведінку підприємства на ринках матеріальних факторів виробництва (засобів і предметів праці); по-друге, рішень про номенклатуру, обсяги та якість придбаних і використовуваних усередині підприємства ресурсів.

Ринкова стратегія підприємства розробляється на основі досліджень і прогнозування кон'юнктури товарного ринку, вивчення покупців, вивчення товарів, конкурентів та інших елементів ринкового господарства. Найбільш поширеними стратегіями маркетингу є:

- а) проникнення на ринок;
- б) розвиток ринку;
- в) розробка товару;
- г) диверсифікація.

Спираючись на основні характеристики послуги, варто визначитись з базовою стратегією розвитку підприємництва. Оскільки дана послуга передбачає менші витрати, порівняно із схожими видами послуг, варто застосувати стратегію спеціалізації. Це є доцільним, оскільки підприємство може завоювати клієнтів як за допомогою меншої вартості наданих послуг, так і за допомогою диференціації.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 7.8).

7.6 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у (табл. 7.8) потрібно підсумувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Методика, яку планується використовувати, є унікальною. Тому задля забезпечення її від копіювання конкурентами, можна запатентувати методику.

Таблиця 7.8 - Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Даний проект є «першопрохідцем на ринку»	Компанія буде шукати нових споживачів, з розширенням продукції, компанія буде на вигідних умовах забирати споживачів у конкурентів	Компанія не буде копіювати характеристики товару, а спиратиметься лише на власні розробки	Стратегія спеціалізації

Таблиця 7.9 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
Виготовлення інструменту для обробки металів	Висока міцність, дешевизна, швидкість, якість	Новий сплав, що призведе до більшої міцності, зносостійкості; швидкість обробки.

7.7 Формування системи збуту

Аналіз системи збуту передбачає визначення ефективності кожного елемента цієї системи, оцінювання діяльності апарату працівників збуту. Аналіз витрат обігу передбачає зіставлення фактичних збутових витрат за кожним каналом збуту і видом витрат із запланованими показниками для того, щоб виявити необґрунтовані витрати, ліквідувати затрати, що виникають у процесі руху товарів і підвищити рентабельність наявної системи збуту. Організація збуту в процесі аналізу відіграє дуже важливу роль, оскільки забезпечує зворотний зв'язок виробництва з ринком, є джерелом інформації про попит та потреби споживачів. Ось чому розробку збутової політики кладуть в основу програми аналізу як щодо кожного продукту, так і по виробничому відділенню загалом. Якщо на основі розрахунків з'ясовують, що витрати на реалізацію нового товару дуже високі й не дають змоги забезпечити необхідний рівень рентабельності, то керівництво виробничого відділення може прийняти ухвалу про недоцільність подальшої розробки та впровадження у виробництво певного товару. Фахівці-аналітики можуть не лише визначити майбутню прибутковість виробу, а й внести свої пропозиції щодо його вдосконалення і нових можливостей використання відповідних виробів у інших сферах.

При виборі програми збуту варто звернути увагу на те, що цільова аудиторія включає переважно осіб із середнім рівнем доходів. Таким чином, реклама та збут можуть

збільшити витрати, які прямо чи опосередковано впливають на вартість послуги, не більше, ніж на 10 %. Зважаючи на вищевказане, каналами збуту можуть бути реклама в Інтернеті (соціальні мережі, дошки безкоштовних оголошень тощо), рекламні листівки, банери та інші відносно недорогі види реклами.

До завдань реклами відноситься, в першу чергу, інформування про відкриття підприємства, що запровадило унікальну послугу для зміцнення поверхні корпусів.

7.8 Висновки до розділу

Незважаючи на всі за і проти, розробка даного проекту є досить перспективною, оскільки сучасний ринок потребує використання більш довговічних та якісних деталей, а також деталей з вищими механічними та термо-електричними характеристиками. Дані сплави дозволять значно підвищити міцність та зносостійкість деталей. Також вихід сплавів, які здатні працювати при високих температурах та в агресивних середовищах відразу приверне увагу користувачів.

При аналізі ринку виявлено, що бар'єром для успішного розвитку стартап проекту може стати продукція-замінники від конкурентів, а також бренд, який вони створили. Також використання конкурентами новітніх технологій може призвести до зменшення кількості користувачів. В загальному, стартап-проект має переваги над конкурентами, тому має місце до подальшої імплементації.

ВИСНОВКИ

Досліджено зміни мікроструктури, фазового складу та параметрів кристалічних решіток порошкового сплаву Fe-20 мас.% Мо при спіканні при 920 °С. Проаналізовано зміну маси часток фазових складових в продовж 7 годинної ізотермічної витримки. Особливостями мікроскопічної кінетики є утворення аномальної дифузійної пористості на початку процесу, немонотонна зміна часток фазових складових, формування проміжних фаз з нестабільною концентрацією компонентів. Запропоновано механізм процесу спікання.

CONCLUSIONS

The changes of the microstructure, phase composition and parameters of the crystal lattices of the Fe-20 alloy powder alloy during sintering at 920 ° C were studied. The change in the mass of the particles of the phase constituents during 7 hours of isothermal exposure is analyzed. Peculiarities of microscopic kinetics are the formation of anomalous diffusion porosity at the beginning of the process, nonmonotonic change of particles of phase constituents, formation of intermediate phases with unstable concentration of components. The mechanism of sintering process is offered.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Диаграммы состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа. Банных О. А., Будберг П.Б., Алисова С. П. и др. Металлургия, 1986 г.
2. Диаграммы состояния двойных металлических систем ред. Лякишева Н.П.Машиностроение, 1996-2000 г.
3. Властивості молібдену [Електронний ресурс], 2020. – Режим доступу : [https://uk.wikipedia.org/wiki/Молібден_\(Вікіпедія\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Молібден_(Вікіпедія)). – Назва з екрану. – Дата перегляду 16.05.2021.
4. Властивості металевого заліза [Електронний ресурс], 2020. – Режим доступу : [https://uk.wikipedia.org/wiki/Залізо_\(Вікіпедія\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Залізо_(Вікіпедія)). – Назва з екрану. – Дата перегляду 07.12.2020.
5. Guillermet AF. In: Massalski TB, editor. Binary alloy phase diagrams. Metals Park (OH): American Society for Metals; 1986:1726.
6. Isheim, Dieter, et al. "Atomic-scale Study of a Transition Phase Precipitate and Its Interfacial Chemistry in an Fe– 15 at.% Mo– 5 at.% V Alloy." *Microscopy and Microanalysis* 7.5 (2001): 424-434.
7. Leonhardt, M., W. Löser, and H-G. Lindenkreuz. "Phase selection in undercooled peritectic Fe–Mo alloys." *Acta materialia* 50.4 (2002): 725-734.
8. Guillermet, A. Fern'andez. "Fe– Mo system." *Bulletin of Alloy Phase Diagrams* 4.1 (1983): 28-28.
9. Baheti, Varun A., and Ravi Raju. "Interdiffusion study of the topologically closed packed μ phase and the phase boundary compositions in the Fe–Mo system." *Intermetallics* 113 (2019): 106586.
10. Vigououx E. Comptes rendu / Vigououx E. – 1936. –Vol. 218. – P. 24–28.
11. Хансен М. Структуры двойных сплавов / Хансен М., Андерко К. -М. : Металлургиздат. – Т. 2. – 1962. – 1488 с.
- 12.Шуберт К. Кристаллические структуры двухкомпонентных фаз / Шуберт К. – М. : Металлургия, 1971. – 536 с.
- 13.Мікроскопічна кінетика ізотермічного спікання сплаву Fe-20 % (мас.) Мо / Мазур В.І., Лобода П.О., Соловійова Т.О. [та ін.] // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні – 2020. – № 2. – С. 30–36.

- 14.Мазур В. И. О контактном плавлении при перитектической кристаллизации стали / Мазур В. И. // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2018. – No 1. – С. 49–52.
- 15.Левченко О. Г. Охорона праці та цивільний захист: навч. посіб. для студ. спеціальностей 132 «Матеріалознавство» та 136 «Металургія». – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 337 с. – [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/31215>.
- 16.ДНАОП 0.00-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.
- 17.ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
- 18.ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення.
- 19.ПУЕ-2017. Правила улаштування електроустановок. – К.: Міненерговугілля України, 2017. – 617 с.
- 20.Положення щодо розробки планів локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій, № 424/3717 від 30.06. 1999 р.
- 21.ДСТУ 3273-95. Безпечність промислових підприємств. Загальні положення та вимоги.