

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ**

**РОБОЧА ПРОГРАМА,
методичні вказівки та індивідуальні завдання
до вивчення дисципліни «Сучасні технології отримання
та дослідження матеріалів», розділ 2 «Електронна
мікроскопія та сучасні технології дослідження
матеріалів»
для студентів спеціальності 132 - Матеріалознавство
(магістерський рівень)**

Друкується за планом навчальної та методичної літератури,
затвердженим Вченою радою НМетАУ
Протокол № 2 від 05.02.2018

Дніпро НМетАУ 2018

Робоча програма, методичні вказівки та індивідуальні завдання до вивчення дисципліни «Сучасні технології отримання та дослідження матеріалів» для студентів спеціальності 132 – матеріалознавство (магістерський рівень). Розділ 2 «Електронна мікроскопія та сучасні технології дослідження матеріалів» / укл.: К.І. Узлов, А.В. Дзюбіна – Дніпро: НМетАУ, 2018. – 32 с.

Викладені робоча програма, методичні вказівки та індивідуальні завдання до вивчення дисципліни «Сучасні технології отримання та дослідження матеріалів», розділ 2 «Електронна мікроскопія та сучасні технології дослідження матеріалів». Наведені матриці виконання лабораторних робіт, а також питання для контролю знань.

Призначена для студентів спеціальності 132 – матеріалознавство (магістерський рівень) заочної форми навчання.

Укладачі: К.І. Узлов, д-р техн. наук, проф.
А.В. Дзюбіна, аспірант

Відповідальний за випуск: К.І. Узлов, д-р техн. наук, проф.

Рецензент: Л.М. Дейнеко, д-р техн. наук, проф.

Підписано до друку 01.10.2018. Формат 60×84 1/16. Папір друк. Друк плоский.
Облік.-вид. арк. 1,88. Умов. друк. арк. 1,86. Тираж 100 пр.
Замовлення № 215.

Національна металургійна академія України
49600, м. Дніпро-5, пр. Гагаріна, 4

Редакційно-видавничий відділ НМетАУ

ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛІНИ

Навчальна дисципліна «Сучасні технології отримання та дослідження матеріалів» (Розділ 2 «Електронна мікроскопія та сучасні технології дослідження матеріалів») є нормативною і входить до циклу дисциплін професійної та практичної підготовки магістерського рівня студентів спеціальності 132 – матеріалознавство.

Мета вивчення дисципліни – вивчення сучасних технологій електронно - зондових методів дослідження речовин та матеріалів є актуальним, у зв'язку з промисловим поширенням застосування таких структурно складних та наноструктурних матеріалів і сплавів, як високолеговані сталі, жароміцні та жаростійкі сплави, композиційні та порошкові матеріали, покриття та ін.

В результаті вивчення дисципліни студент повинен:

знати:

- заходи використання основних законів взаємодії електронного променя та твердотільної мішені,
- порядок вибору конкретного методу електронно - зондового аналізу матеріалів для рішення поставленої задачі,
- основні відомості про принципи роботи трансмісійної, емісійної, растрової електронної мікроскопії, рентгеноспектрального мікроаналізу та ін.,
- методи розшифрування та ідентифікування отриманих результатів аналізу.

вміти:

- використовувати інформацію про науково-технічні можливості та технічні характеристики електронно-променевих приладів того чи іншого типу. а також про наукову задачу, що потрібно вирішити, обрати тип електронно-променевого приладу та методику підготовки зразків,
- використовувати інформацію про методику роботи на електронно-оптичному приладі та очікувану інформацію, що міститься в зразку,
- використовувати інформацію щодо складу матеріалу, діаграм стану відповідних систем, термодинамічних діаграм фазових перетворень, тощо,
- за допомогою відомостей щодо будови, тонкої структури, властивостей фаз та їх взаємодії, а також зв'язку між складом, структурою та властивостями матеріалів, визначати доцільність використання для конкретного матеріалу тієї чи іншої групи методів забезпечення необхідної якості.

Критерії успішності – отримання позитивної оцінки при складанні контрольних робіт у тестовій формі та екзамену.

Засоби діагностики успішності навчання – комплект тестових завдань.

Зв'язок з іншими дисциплінами – дисципліна є однією з основоположних у підготовці магістрів спеціальності 132 – матеріалознавство. Їй передують вивчення дисциплін «Фізика та хімія твердого тіла», «Кристалографія, кристалохімія та мінералогія», «Матеріалознавство», «Методи дослідження фізико-хімічних властивостей матеріалів» та ін.

1 ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Структуру розділу 2 «Електронна мікроскопія та сучасні технології дослідження матеріалів» дисципліни «Сучасні технології отримання та дослідження матеріалів» наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Структура розділу 2 «Електронна мікроскопія та сучасні технології дослідження матеріалів»

Загалом годин	Курс/семестри						Примітки
	1/2						
	Аудиторних, годин	Лекцій, годин	Лабор., годин/ кількість	Самост., годин	Контр. роб.	Вид контролю	
90	12	8	4/2	78	1	Екзамен	

Робоча програма передбачає самостійну роботу, контрольовану викладачем, яка включає:

- вивчення лекційного матеріалу;
- підготовку до лабораторних занять;
- самостійне вивчення розділів дисципліни, які не викладаються на лекціях;
- виконання індивідуального завдання;
- підготовку до контрольних заходів (екзамену).

2 РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

1. Куцова В.З. Робоча програма, методичні вказівки та індивідуальні завдання для вивчення дисципліни «Сучасні технології отримання та дослідження матеріалів», розділ 1 «Тонкоплівкові матеріали і технології їх одержання» для студентів спеціальності 132 – Матеріалознавство / В.З. Куцова, Н.М. Федоркова – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2016. – 29 с.
2. Узлов К. И. Разработка нормативной документации на изотермически закаленный высокопрочный чугун с бейнитной матрицей / К. И. Узлов, А. Н. Хулин, Ж. А. Дементьева, Т. Е. Суровцева, В. В. Хливной, В. И. Дидковский – Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2007, №2. – С. 46-48.
3. Узлов К. И. Анализ характера разрушения промышленных изделий из высокопрочных бейнитных чугунов в зависимости от структурного состояния их матрицы / К. И. Узлов, В. И. Сухомлин, А.Ю. Борисенко, А. Н. Хулин – Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2010, №4. – С. 73-77.
4. Горелик С. С. Рентгенографический и электроннооптический анализ / С. С. Горелик, Л. Н. Расторгуев, Ю. А. Скаков – М.: Металлургия, 1970. – 366 с.
5. Миркин Л.И. Рентгеноструктурный контроль машиностроительных материалов / Л.И. Миркин – М.: Машиностроение, 1979. – 134 с.
6. Лозовой Н. В. Влияние высокотемпературного термоциклирования на распределение легирующих элементов в фазах стали Р6М5Ф3 / Н. В. Лозовой, А. А. Балакин, Н. Н. Федоркова, В. А. Соколянский, А. В. Сидоренко – Metallurgy – 2012 Czestochova University of Technology. Faculty of Materials Processing, Technology and Applied Physics. Monograph. – 2013, №26. – С. 11-14.
7. Ворончев Т.А. Физические основы электровакуумной техники / Т.А. Ворончев, В.Д. Соболев – М.: Высшая школа, 1967. – 352 с.
8. Кучеренко Е.Т. Справочник по физическим основам вакуумной техники / Е. Т. Кучеренко – К.: Вища школа, 1981. – 264 с.
9. ГОСТ 21006-75 Микроскопы электронные. Термины, определения и буквенные обозначения
10. Деркач В.П. Электроннозондовые устройства / В.П. Деркач, Г.Ф. Кияшко, М.С. Кухарчук – К.: Наукова думка, 1974. – 268 с.
11. Приборы и методы физического металловедения / Под ред. Ф. Вейнберга – М.: Мир, 1974. – 427 с.

12. Томас Г. Просвечивающая электронная микроскопия материалов / Г. Томас, М. Дж. Гориндж – М.: Наука, 1983. – 320 с.
13. Утевский Л. М. Дифракционная электронная микроскопия в металловедении / Л. М. Утевский – М.: Металлургия, 1973. – 584 с.
14. Эндрюс К. Электронограммы и их интерпретация / К. Эндрюс, Д. Дайсон, С. Киоун – М.: Мир, 1971. – 256 с.
15. Гоулдстейн Дж. Практическая растровая электронная микроскопия / Дж. Гоулдстейн, Х. Яковица – М.: Мир, 1978. – 656 с.

3 ПРОГРАМА РОЗДІЛУ 2 «ЕЛЕКТРОННА МІКРОСКОПІЯ ТА СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕРІАЛІВ» ДИСЦИПЛІНИ «СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕРІАЛІВ»

Розподіл навчальних годин за темами і видами занять розділу 2 «Електронна мікроскопія та сучасні технології дослідження матеріалів» дисципліни «Сучасні технології дослідження матеріалів», з урахуванням розділу 1 [1], наведений в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Теми та розподіл навчальних годин

№ тем	Назва розділу / теми та їх зміст	Види занять				
		ауд.	лекц.	лабор.	практ.	самост.
1	Основи геометричної оптики. Формування зображень. Апертура. Апертурний кут. Кутова апертура. Числова апертура. Аберация. Хроматична аберация. Геометрична аберация. Дисторсія. Коматична аберация. Сферична аберация. Астигматизм. Дифракційна аберация. Роздільні відстань, здатність, корисне збільшення – їх обчислення для випадків світлового та електронного випромінювань.	2	2	–	–	22

Продовження таблиці 3.1

№ тем	Назва розділу / теми та їх зміст	Види занять				
		ауд.	лекц.	лабор.	практ.	самост.
2	Трансмісійна електронна мікроскопія. Хід променів в електронному мікроскопі. Електронна гармата: катод, модулятор, анод. Електромагнітна лінза. Конденсорна, об'єктивна, проміжна лінзи. Проекційний блок. Екран. Полюсні наконечники. Стигматори. Діафрагми освітлювальної системи. Апертурна, селекторна, польова діафрагми. Мікродифракція. Світлопольне та темнопольне зображення.	2	2	—	—	22
3	Сучасні методи дослідження структури матеріалів. Первинні електрони. Растр. Піксель. Катодолюмінісценція. Фонони. Плазмони. Вторинні електрони. Рентгенівські промені. Поглинені електрони. Проникаючі електрони. Оже - електрони. Відбиті електрони. Світлове випромінювання. Трансмісійна, скануюча електронні мікроскопії. Рентгеноспектральний мікроаналіз. Емісійний спектральний аналіз. Атомна абсорбційна спектрофотометрія. Електронна емісійна мікроскопія. Автоелектронна, фотоелектронна, термоелектронна емісії.	4	2	2	—	17

Продовження таблиці 3.1

№ тем	Назва розділу / теми та їх зміст	Види занять				
		ауд.	лекц.	лабор.	практ.	самот.
	Вторинна електронно – іонна, вибухова електронна, криогенна електронна емісії. Тунельна, автоіонна, атомна силова, дзеркальна електронна мікроскопії.					
4	Приготування об'єктів електронномікроскопічного дослідження. Загальні вимоги до зразків електронно-мікроскопічних досліджень. Методи препарування порошкових матеріалів: сухий, вологий методи, ультразвукове диспергування. Приготування зразків з масивних матеріалів. Механічна обробка, шліфування, полірування. Хімічне полірування Ультратонке мікротомування. Електрохімічні комірка, полірування. Іонно-променевий метод. Методи реплік: одноступеневий, двохступеневий, з вилученням, з декоруванням, з напиленням.	4	2	2	–	17
	Курсовий проект	-	-	-	-	-
Загалом		12	8	4	–	78

4 ПИТАННЯ ДЛЯ ЗАКЛЮЧНОГО КОНТРОЛЮ

1. Наведіть креслення схеми формування зображення в оптичній системі мікроскопу та позначте на ній головну оптичну вісь. Дайте визначення та загальну характеристику цього елементу схеми формування зображення.
2. Наведіть креслення схеми формування зображення в оптичній системі мікроскопу та позначте на ній кінцеве збільшене зображення. Дайте визначення та загальну характеристику цього елементу схеми формування зображення.
3. Наведіть креслення схеми формування зображення в оптичній системі мікроскопу та позначте на ній об'єкт дослідження. Дайте визначення та загальну характеристику цього елементу схеми формування зображення.
4. Наведіть креслення схеми формування зображення в оптичній системі мікроскопу та позначте на ній фокус об'єктиву. Дайте визначення та загальну характеристику цього елементу схеми формування зображення.
5. Наведіть креслення схеми формування зображення в оптичній системі мікроскопу та позначте на ній проміжне збільшене зображення. Дайте визначення та загальну характеристику цього елементу схеми формування зображення.
6. Наведіть креслення схеми формування зображення в оптичній системі мікроскопу та позначте на ній фокус окуляру. Дайте визначення та загальну характеристику цього елементу схеми формування зображення.
7. Дайте визначення поняття «апертура». Наведіть тлумачення фізичного змісту цього поняття.
8. Дайте визначення поняттю «кутова апертура». Наведіть тлумачення фізичного змісту цього поняття.
9. Дайте визначення поняттю «числова апертура». Наведіть тлумачення фізичного змісту цього поняття.
10. Дайте визначення поняттю «апертурний кут». Наведіть тлумачення фізичного змісту цього поняття.
11. Дайте визначення поняттю «аберація». Наведіть тлумачення фізичного змісту цього поняття та схему формування.
12. Дайте визначення поняттю «хроматична аберація». Наведіть тлумачення фізичного змісту цього поняття та схему формування.

13. Дайте визначення поняттю «геометрична аберація». Наведіть тлумачення фізичного змісту цього поняття та схему формування.
14. Дайте визначення поняттю «дисторсія». Наведіть тлумачення фізичного змісту цього поняття та схему формування.
15. Дайте визначення поняттю «коматична аберація». Наведіть тлумачення фізичного змісту цього поняття та схему формування.
16. Дайте визначення поняттю «коматична аберація». Наведіть тлумачення фізичного змісту цього поняття та схему формування.
17. Дайте визначення поняттю «астигматизм». Наведіть тлумачення фізичного змісту цього поняття та схему формування.
18. Дайте визначення поняттю «дифракційна аберація». Наведіть тлумачення фізичного змісту цього поняття та схему формування.
19. Дайте визначення поняттю «роздільна відстань». Наведіть тлумачення фізичного змісту цього поняття та формули розрахунку.
20. Дайте визначення поняттю «роздільна сила» Наведіть тлумачення фізичного змісту цього поняття та формули розрахунку.
21. Дайте визначення поняттю «корисне збільшення» Наведіть тлумачення фізичного змісту цього поняття та формули розрахунку.
22. Дайте визначення поняттю «загальне збільшення» Наведіть тлумачення фізичного змісту цього поняття та формули розрахунку.
23. Що таке електронна гармата освітлювальної системи? Охарактеризуйте призначення цього елементу та назвіть його складові.
24. Що таке катод електронної гармати освітлювальної системи? Охарактеризуйте призначення цього елементу та назвіть його складові.
25. Що таке модулятор електронної гармати освітлювальної системи? Охарактеризуйте призначення цього елементу та назвіть його складові.
26. Що таке анод електронної гармати освітлювальної системи? Охарактеризуйте призначення цього елементу та назвіть його складові.
27. Що таке конденсорна лінза оптичної системи електронного мікроскопу? Охарактеризуйте призначення цього елементу та принцип дії.
28. Що таке об'єктивна лінза оптичної системи електронного мікроскопу? Охарактеризуйте призначення цього елементу та принцип дії.
29. Що таке проміжна лінза оптичної системи електронного мікроскопу? Охарактеризуйте призначення цього елементу та принцип дії.

30. Що таке проєкційна лінза оптичної системи електронного мікроскопу? Охарактеризуйте призначення цього елементу та принцип дії.
31. Що таке електромагнітна лінза електронного мікроскопу? Охарактеризуйте призначення цього елементу та принцип дії.
32. Що таке полюсний наконечник оптичної системи електронного мікроскопу? Охарактеризуйте призначення цього елементу та принцип дії.
33. Що таке стигматор лінзи оптичної системи електронного мікроскопу? Охарактеризуйте призначення цього елементу та принцип дії.
34. Що таке діафрагма освітлювача освітлювальної системи електронного мікроскопу? Охарактеризуйте призначення цього елементу та принцип дії.
35. Що таке апертурна діафрагма оптичної системи електронного мікроскопу? Охарактеризуйте призначення цього елементу та принцип дії.
36. Що таке селекторна діафрагма оптичної системи електронного мікроскопу? Охарактеризуйте призначення цього елементу та принцип дії.
37. Що таке польова діафрагма оптичної системи електронного мікроскопу? Охарактеризуйте призначення цього елементу та принцип дії.
38. Охарактеризуйте режими формування зображення в трансмісійному електронному мікроскопі. Надайте детальну характеристику світлопольного зображення. Відповідь проілюструйте графічними схемами.
39. Охарактеризуйте режими формування зображення в трансмісійному електронному мікроскопі. Надайте детальну характеристику мікродифракційного зображення. Відповідь проілюструйте графічними схемами.
40. Охарактеризуйте режими формування зображення в трансмісійному електронному мікроскопі. Надайте детальну характеристику темнопольного зображення. Відповідь проілюструйте графічними схемами.
41. Представте загальну характеристику фізичних явищ при опромінюванні речовини катодними променями. Дайте визначення поняття «растр» та розкрийте його фізичний зміст.
42. Представте загальну характеристику фізичних явищ при опромінюванні речовини катодними променями. Дайте визначення поняття «підсіль» та розкрийте його фізичний зміст.

43. Представте загальну характеристику фізичних явищ при опромінюванні речовини катодними променями. Дайте визначення поняття «катодолюмінісценція» та розкрийте його фізичний зміст.
44. Представте загальну характеристику фізичних явищ при опромінюванні речовини катодними променями. Дайте визначення поняття «фонон» та розкрийте його фізичний зміст.
45. Представте загальну характеристику фізичних явищ при опромінюванні речовини катодними променями. Дайте визначення поняття «плазмон» та розкрийте його фізичний зміст.
46. Представте загальну характеристику фізичних явищ при опромінюванні речовини катодними променями. Дайте визначення поняття «світлове випромінювання» та розкрийте його фізичний зміст.
47. Представте загальну характеристику фізичних явищ при опромінюванні речовини катодними променями. Дайте визначення поняття «відбиті електрони» та розкрийте його фізичний зміст.
48. Представте загальну характеристику фізичних явищ при опромінюванні речовини катодними променями. Дайте визначення поняття «Оже-електрони» та розкрийте його фізичний зміст.
49. Представте загальну характеристику фізичних явищ при опромінюванні речовини катодними променями. Дайте визначення поняття «поглинені електрони» та розкрийте його фізичний зміст.
50. Представте загальну характеристику фізичних явищ при опромінюванні речовини катодними променями. Дайте визначення поняття «рентгенівські промені» та розкрийте його фізичний зміст.
51. Представте загальну характеристику фізичних явищ при опромінюванні речовини катодними променями. Дайте визначення поняття «вторинні електрони» та розкрийте його фізичний зміст.
52. Представте загальну характеристику фізичних явищ при опромінюванні речовини катодними променями. Дайте визначення поняття «первинні електрони» та розкрийте його фізичний зміст.
53. Представте загальну характеристику фізичних явищ при опромінюванні речовини катодними променями. Дайте визначення поняття «проникли електрони» та розкрийте його фізичний зміст.

54. Дайте розлогу характеристику фізичного процесу та апаратної реалізації методу «рентгеноспектральний мікроаналіз».
55. Дайте розлогу характеристику фізичного процесу та апаратної реалізації методу «скануюча електронна мікроскопія».
56. Дайте розлогу характеристику фізичного процесу та апаратної реалізації методу «трансмійна електронна мікроскопія».
57. Дайте розлогу характеристику фізичного процесу та апаратної реалізації методу «автоіонна мікроскопія».
58. Дайте розлогу характеристику фізичного процесу та апаратної реалізації методу «Оже - спектроскопія».
59. Дайте розлогу характеристику фізичного процесу та апаратної реалізації методу «термоелектронна емісія».
60. Дайте розлогу характеристику фізичного процесу та апаратної реалізації методу «вторинна електронно-іонна емісія».
61. Дайте розлогу характеристику фізичного процесу та апаратної реалізації методу «вибухова електронна мікроскопія».
62. Дайте розлогу характеристику фізичного процесу та апаратної реалізації методу «кріогенна електронна емісія».
63. Дайте розлогу характеристику фізичного процесу та апаратної реалізації методу «емісійний спектральний аналіз».
64. Дайте розлогу характеристику фізичного процесу та апаратної реалізації методу «атомна абсорбційна спектрофотометрія».
65. Дайте розлогу характеристику фізичного процесу та апаратної реалізації методу «автоелектронна емісія».
66. Дайте розлогу характеристику фізичного процесу та апаратної реалізації методу «фотоелектронна емісія».
67. Дайте розлогу характеристику фізичного процесу та апаратної реалізації методу «тунельна мікроскопія».
68. Дайте розлогу характеристику фізичного процесу та апаратної реалізації методу «атомна силова мікроскопія».
69. Дайте розлогу характеристику фізичного процесу та апаратної реалізації методу «дзеркальна мікроскопія».

70. Наведіть детальну характеристику загальних вимог до зразків для електронномікроскопічних досліджень. Представте розлогу характеристику методу «сухе препарування порошків».
71. Наведіть детальну характеристику загальних вимог до зразків для електронномікроскопічних досліджень. Представте розлогу характеристику методу «вологе препарування порошків».
72. Наведіть детальну характеристику загальних вимог до зразків для електронномікроскопічних досліджень. Представте розлогу характеристику методу «ультразвукове диспергування».
73. Наведіть детальну характеристику загальних вимог до зразків для електронномікроскопічних досліджень. Представте розлогу характеристику методу «механічне препарування масивних зразків».
74. Наведіть детальну характеристику загальних вимог до зразків для електронномікроскопічних досліджень. Представте розлогу характеристику методу «ультра мікротомування».
75. Наведіть детальну характеристику загальних вимог до зразків для електронномікроскопічних досліджень. Представте розлогу характеристику методу «хімічна поліровка».
76. Наведіть детальну характеристику загальних вимог до зразків для електронномікроскопічних досліджень. Представте розлогу характеристику методу «електрохімічна поліровка».
77. Наведіть детальну характеристику загальних вимог до зразків для електронномікроскопічних досліджень. Представте розлогу характеристику методу «іонно-променеве розпилювання».
78. Наведіть детальну характеристику загальних вимог до зразків для електронномікроскопічних досліджень. Представте розлогу характеристику методу «репліка».
79. Наведіть детальну характеристику загальних вимог до зразків для електронномікроскопічних досліджень. Представте розлогу характеристику методу «репліка з вилученням».
80. Наведіть детальну характеристику загальних вимог до зразків для електронномікроскопічних досліджень. Представте розлогу характеристику методу «репліка з декоруванням».

81. Наведіть детальну характеристику загальних вимог до зразків для електронномікроскопічних досліджень. Представте розлогу характеристику «одноступінчатого методу реплік».
82. Наведіть детальну характеристику загальних вимог до зразків для електронномікроскопічних досліджень. Представте розлогу характеристику «двоступінчатого методу реплік».
83. Наведіть визначення процедури аналізу дефектності поверхні. Надайте характеристику цієї процедури, її призначення та способів технічної реалізації.
84. Наведіть визначення процедури аналізу шорсткості. Надайте характеристику цієї процедури, її призначення та способів технічної реалізації.
85. Наведіть визначення процедури зняття електростатичного заряду. Надайте характеристику цієї процедури, її призначення та способів технічної реалізації.
86. Наведіть визначення процедури забезпечення «умовної» придатності об'єкту електронномікроскопічного дослідження. Надайте характеристику цієї процедури, її призначення та способів технічної реалізації.
87. Наведіть визначення процедури консервації об'єкту. Надайте характеристику цієї процедури, її призначення та способів технічної реалізації.
88. Наведіть визначення процедури ультразвукової очистки. Надайте характеристику цієї процедури, її призначення та способів технічної реалізації.
89. Наведіть визначення процедури аналізу мікроструктури. Надайте характеристику цієї процедури, її призначення та способів технічної реалізації.
90. Наведіть визначення процедури класифікування видів руйнування. Надайте характеристику цієї процедури, її призначення та способів технічної реалізації.

5 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ

Лабораторна робота №1

«Одержання та ідентифікування зображень і електронограм ультратонкого об'єкту трансмісійного електронномікроскопічного метода дослідження»

Мета: Набуття теоретичних знань та практичних навичок щодо одержання мікроструктурних зображень і електронограм ультратонкого об'єкту трансмісійного електронномікроскопічного (ТЕМ) метода дослідження та їх ідентифікування.

Термін виконання: 2 години.

Порядок виконання роботи. Завдання:

1. Методом трансмісійного електронномікроскопічного аналізу одержати світлопольне зображення та мікродифракційну стереопроєкцію ділянки тонкої фольги об'єкту дослідження.

2. Провести попередній якісний аналіз хімічного складу за вимогами нормативної документації і, за даними розгляду світлопольного зображення, передбачуваних фазового складу та мікроструктури об'єкту.

3. Здійснити розрахунок електринограми, отриманої від ділянки зразку, якісно оціненої за даними аналізу світлопольного зображення.

4. За даними розрахунку міжплощинних відстаней, здійснити фазову ідентифікацію дослідженого фрагменту об'єкту аналізу.

5. Визначити індекси вісі кристалографічної зони для кожної ідентифікованої в роботі фазової складової об'єкту дослідження.

6. За даними проведеного аналізу (з використанням отриманих розрахункових значень), сформулювати висновки про фазовий склад фрагменту дослідного об'єкту та про результати обчислення осей зон.

Стисла інформація з теорії

Загальна характеристика методу

Відповідним чином сфокусований електронний (катодний) промінь проходить через кристал. При цьому, дифракція відбувається в тому випадку, якщо водночас задовольняються три умови Лауе:

$$\begin{aligned}a (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) &= n_1 \lambda, \\ b (\cos \beta_1 - \cos \beta_2) &= n_2 \lambda, \\ c (\cos \gamma_1 - \cos \gamma_2) &= n_3 \lambda.\end{aligned}\tag{1}$$

де: a, b, c – параметри кристалічної ґратки,

n_1, n_2, n_3 – порядок дифракції, $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$ – кути падіння катодного проміню,

$\alpha_2, \beta_2, \gamma_2$ – кути заломлення (дифракції) катодного проміню, λ – довжина хвилі електронного проміню.

Дифракція електронів обумовлена притаманними їм хвильовими властивостями, основним з яких для електронномікроскопічного аналізу є довжина хвилі:

$$\lambda = h/mv.\tag{2}$$

У сучасній науці прийнятою є довжина хвилі електрону: $\lambda^e \approx 0,00386 \text{ \AA}$, або $\lambda^e \approx 3,8615901 \cdot 10^{-13} \text{ м}$.

Для мікроскопів, які працюють при напрузі прискорювання 100 кВ, прийнято використовувати довжину хвилі електрону $0,037 \text{ \AA}$ або $0,0037 \text{ нм}$.

Косинуси кутів у рівняннях (1) визначають напрямки пучків електронів, що падають та тих, що дифраговані після взаємодії з площинами кристалу.

Формування електронномікроскопічних зображень

Трансмісійна електронна мікроскопія реалізується за допомогою трансмісійних електронних мікроскопів, в яких об'єкт у вигляді тонкої плівки – фольга ($\sim 10 \text{ нм}$) просвічується катодним променем, який після взаємодії з площинами кристалічної ґратки (дифракції) несе інформацію про внутрішню будову матеріалу. Режим роботи ТЕМ – світлопольне, мікродифракція, темнопольне.

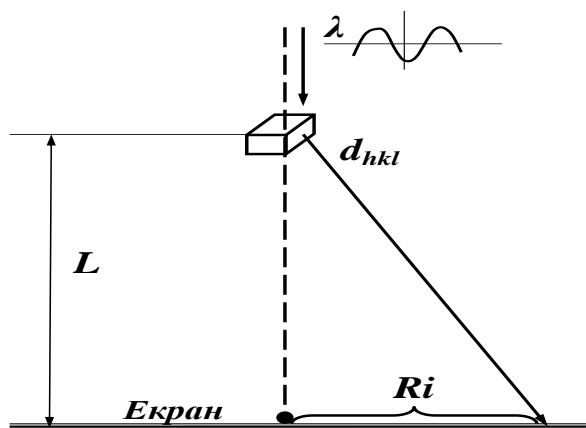


Рисунок 1 – Схема формування електронномікроскопічного зображення

На рисунку 1 представлені схеми дифракції електронного променя (з довжиною хвилі λ) на кристалічному об'єкті і формування мікродифракційної картини на **Екрані** електронного мікроскопу.

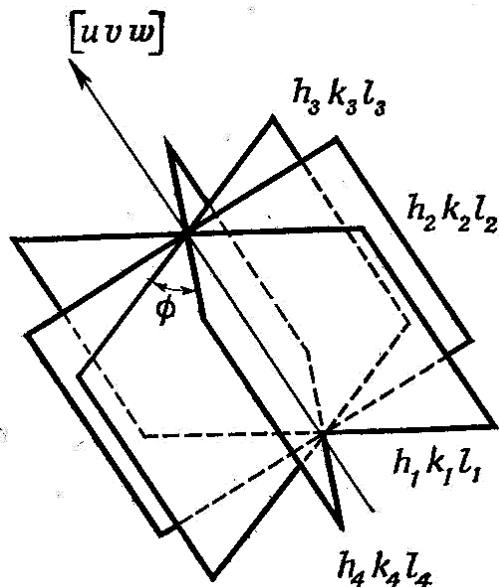
Катодний пучок електронів після відображення від площин з визначеними індексами (hkl) відхиляється на визначений кут i на флуоресцентному екрані мікроскопу формує рефлекси на відстані Ri , яка змінюється в залежності від висоти об'єкта (L) над екраном. Цілком очевидно, що величина Ri залежить від міжплощинних відстаней ґратки (d_{hkl}) об'єкту дослідження.

Тоді:

$$d_{hkl} = \frac{\lambda L}{Ri} . \quad (3)$$

Де λL – **постійна** прибору, оскільки λ це довжина хвилі випромінювання електрону, L – відстань від предметного столика мікроскопу до екрану.

Площини однієї фази, що знаходяться у відбитому положенні за вимогами Лауе (1), належать одній кристалічній зоні, схема якої показана на рисунку 2. Ці площини (hkl) формують вісь зони $[uvw]$, тобто напрям, що належить усім площинам зони, за яким вони перетинаються.



Тоді, вісь зони:

$$u = k_1 \times l_2 - k_2 \times l_1. \quad (4)$$

$$v = l_1 \times h_2 - l_2 \times h_1. \quad (5)$$

$$w = h_1 \times k_2 - h_2 \times k_1. \quad (6)$$

Рисунок 2 – Схема формування кристалографічної зони

Характеристика об'єкту дослідження

Об'єктом дослідження є зразок з чавуну з кулястим графітом за ДСТУ 3925 – 99 «Чавун з кулястим графітом для виливків. Марки» термічно оброблений методом аустемперингу (ADI) за ТУ У 27.1-23365425-604:2006 «Чавун з кулястим графітом ізотермічно зміцнений методом аустемперингу для виливків» [2].

Електронномікроскопічні зображення [3] фрагменту мікроструктури матриці бейнітного чавуну з кулястим графітом (БЧКГ) наведені на рисунку 3. На рисунку 3 а представлено світлопольне зображення фрагменту мікроструктури БЧКГ, отриманої методом ТЕМ. На рисунку 3 б представлена відповідна електроннограма (мікродифракційна картина).

Дослідний зразок піддавали ізотермічному гартуванню з формуванням бейнітної матриці. Температура аустемперингу 330°C. Передбачуваний фазовий склад матриці: ферит (α -Fe), аустеніт (γ -Fe), цементит (Θ -фаза). Постійна електронного мікроскопу для розрахунків: $\lambda \times L = 38,6 \text{ Å} \times \text{mm}$.

Порядок оформлення звіту

1. Представити дані попереднього якісного аналізу хімічного складу з урахуванням вимог ДСТУ 3925 – 99 та ТУ У 27.1-23365425-604:2006 і, за даними розгляду світлопольного зображення, передбачуваних фазового складу

та мікроструктури об'єкту з урахуванням інформації підрозділу «Характеристика об'єкту дослідження» наявної лабораторної роботи.

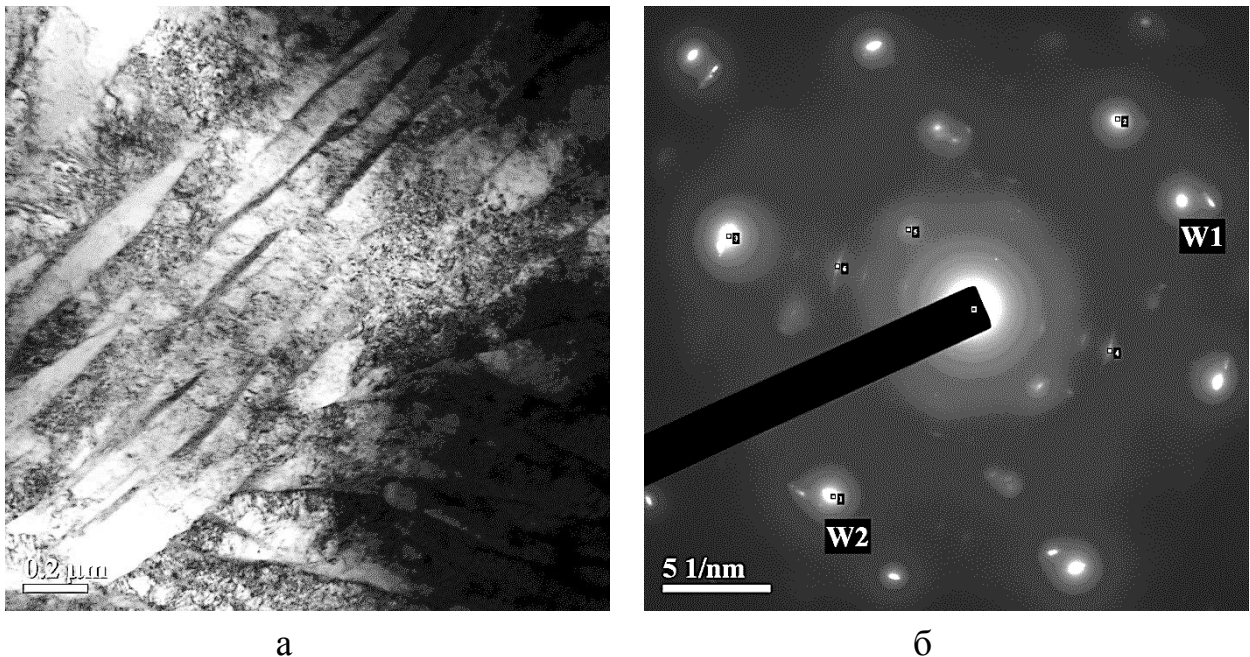


Рисунок 3 – Електронномікроскопічні світлопольне зображення (а) та мікродифракційна картина (б) об'єкту дослідження

2. Провести вимірювання радіусів кілець електронограми мікродифракційної картини, подібної до такої, що представлена на рисунку 3 б (за індивідуальним варіантом завдання).

3. За формулою (3), з використанням експериментально виміряних радіусів кільцевої електронограми, отриманої від ділянки матриці термообробленого чавуну, загальна мікроструктура якої представлена на світлопольному електронномікроскопічному зображенні (подібної до такої, що представлена на рисунку 3), здійснити розрахунок міжплощинних відстаней (за індивідуальним варіантом завдання),.

4. Результати вимірювань та розрахунків представити в табличному вигляді (колонки 3 – 5 Таблиці 1).

5. Провести ідентифікування отриманих розрахункових значень d_i (колонка 5 Таблиці 1) за довідковими даними «Міжплощинних відстаней простих речовин і хімічних з'єднань» [4, 5]. Результати ідентифікування внести до Таблиці 1, колонки 6, 7.

Таблиця 1 – Результати аналізу кільцевої електронограми

Об'єкт аналізу	Постійна прибору λL , Å×мм	№ з/п	R_i , мм	d_i , Å	d_{hkl} , Å	HKL	Фаза
		Експериментальні дані			Табличні дані		
1	2	3	4	5	6	7	8
БЧКГ за ТУ У 27.1-23365425-604:2006	38,6	1					
		2					
		...					
		n					

6. За результатами порівняльного аналізу експериментальних даних Таблиці 1 (колонка 5) та довідкових даних (колонки 6, 7) літературних джерел [4, 5] здійснити ідентифікування фазового складу дослідженого зразку. Результати ідентифікування внести до Таблиці 1 у колонку 8.

7. За формулами (4), (5), (6), з використанням результатів експериментальних досліджень (Таблиця 1, колонки 7, 8), визначити індекси вісі кристалографічної зони для кожної ідентифікованої фази.

8. За даними проведеного аналізу з використанням отриманих розрахункових значень, сформулювати висновки про фазовий склад ділянки зразку дослідного об'єкту (за фрагментом світлопольного зображення мікроструктури – див. рисунок 3 а) та про результати виявлення і обчислення вісі зони кожної з ідентифікованих (Таблиця 1, колонки 7, 8) фаз.

Дати відповіді на теоретичні питання

1. Дайте розлогу характеристику фізичного процесу та апаратної реалізації методу «трансмісійна електронна мікроскопія».

2. Охарактеризуйте режими формування зображення в трансмісійному електронному мікроскопі. Порівняйте їх подібність та особливості у порівнянні зі світловою мікроскопією.

3. Надайте детальну характеристику формування світлопольного зображення. Відповідь проілюструйте графічними схемами.

4. Надайте детальну характеристику формування мікродифракційного зображення. Відповідь проілюструйте графічними схемами.

5. Надайте детальну характеристику формування темнопольного зображення. Відповідь проілюструйте графічними схемами.
6. Представте розлогу характеристику методу «Механічне препарування масивних зразків».
7. Представте розлогу характеристику методу «Ультрамикротомування».
8. Представте розлогу характеристику методу «Хімічна поліровка».
9. Представте розлогу характеристику методу «Електрохімічна поліровка».
10. Представте розлогу характеристику методу «Іонно-променевого розпилення».

Лабораторна робота №2

«Растрова електронна мікроскопія та локальний рентгеноспектральний мікроаналіз фазових і структурних складових»*

Мета: Набуття теоретичних знань і практичних навичок щодо одержання та інтерпретації растрових електронномікроскопічних (РЕМ) зображень і проведення рентгеноспектрального мікроаналізу (РСМА) фазових і структурних складових легированих сталей.

Термін виконання: 2 години.

Порядок виконання роботи. Завдання:

1. Методом растрового електронномікроскопічного аналізу одержати зображення дослідного зразку у вторинних електронах.
2. Провести попередній якісний аналіз хімічного складу за вимогами нормативної документації і, за даними розгляду РЕМ зображення, визначити характеристичні локальні ділянки структури та фазових складових сталі для подальшого рентгеноспектрального мікроаналізу.
3. Зафіксувати за допомогою енергодисперсійного спектрометра (ЕДС) спектри розподілення інтенсивностей хімічних елементів в локальних ділянках об'єкту дослідження.
4. За даними аналізу розрахунків спектрів розподілення інтенсивностей хімічних елементів, визначити хімічний склад досліджених локальних ділянок об'єкту аналізу.

*) Автори цієї методичної розробки щиро дякують Н.М.Федоркову та О.А.Балакіна за люб'язно наданий дослідницький ілюстративний матеріал [6] до наявної Лабораторної Роботи №4

5. На підставі якісних та кількісних даних ЕДС аналізу, здійснити фазову ідентифікацію обраних локальних ділянок об'єкту дослідження.

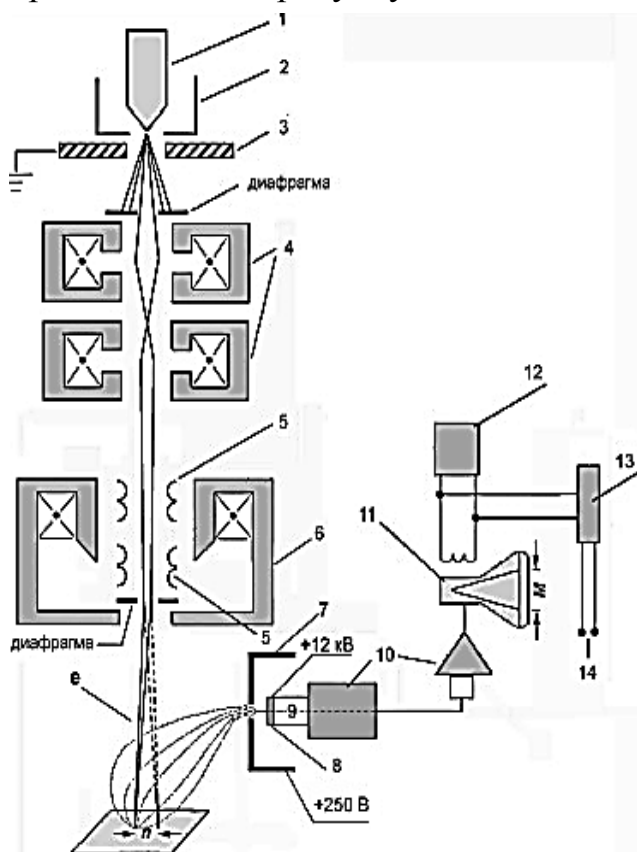
6. За результатами проведеного аналізу (з використанням отриманих розрахункових значень), сформулювати висновки про хімічний та фазовий склад обраних локальних ділянок дослідного об'єкту.

Стисла інформація з теорії

Растрова електронна мікроскопія

Зображення в растровому електронному мікроскопі формується під дією іонізації атомів зразку, яка провокується опромінюванням катодним променем (первинними електронами). Таке збудження атомно-кристалічної структури обумовлює активізацію електронів аж до їх виходу з поверхневих шарів з утворенням потоку вторинних електронів. Саме вони і є в растровому мікроскопі головним джерелом формування зображення. Вторинні електрони забезпечують роздільну здатність мікроскопу 1 ... 10 нм.

Принципова схема будови растрового електронного мікроскопу представлена на рисунку 1.



1 – катод, 2 – циліндр Венельта, 3 – анод, 4 – конденсорні лінзи, 5 – котушки подвійного відхилення ($X \leftrightarrow Y$), 6 – об'єктивна лінза, 7 – колектор детектору емітованих електронів, 8 – сцинтилятор, 9 – світловод, 10 – фотозбільшувач з підсилювачем, 11 – електронно – променева трубка (або персональний комп'ютер), 12 – генератор розгортки, 13 – блок управління збільшенням, 14 – вихід сигналу до котушки подвійного відхилення

Рисунок 1 – Схема растрового електронного мікроскопу

Загальний вигляд сучасного растрового мікроскопу JEOL JSM-7800F представлений на рисунку 2.



Рисунок 2 – Загальний вигляд
растрового електронного
мікроскопу високої роздільної
здатності JEOL JSM-7800F

Сучасні растрові електронні мікроскопи зазвичай працюють при напрузі прискорення до 30кВ з роздільною здатністю 0,08 нм при 15 кВ. Діапазон збільшень складає величини $\times 10 \dots \times 1000000$.

При взаємодії катодного проміню (електронного зонда) з досліджуваним об'єктом, крім вторинних електронів, генерується велика кількість інших випромінювань. Зокрема – рентгенівські промені. Використання спеціалізованих детекторів таких випромінювань дозволяє проводити дослідження експериментальних показників додаткових характеристик матеріалів.

Рентгеноспектральний мікроаналіз

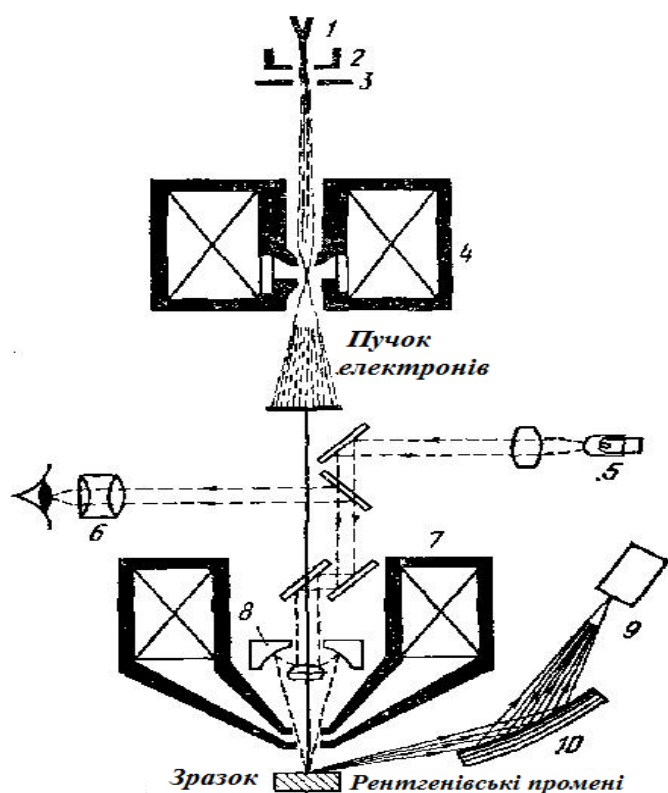
Більшість сучасних растрових електронних мікроскопів облаштована детекторами рентгенівського характеристичного випромінювання. Рентгенівське характеристичне випромінювання реєструється хвильовими дисперсними (ХДС) або напівпровідниковими енергодисперсними спектрометрами (ЕДС). За їх допомогою здійснюється локальний рентгеноспектральний мікроаналіз.

Методами рентгеноспектрального аналізу можна визначати концентрацію майже любых елементів від бору до урану в діапазоні концентрацій від сотих (ХДС) чи десятих (ЕДС) часток вагового проценту до 100%.

Тобто, *рентгеноспектральний мікроаналіз* – це методика, що дозволяє за допомогою електронного мікроскопу або спеціального електронно –зондового

мікроаналізатора («мікрозонд») отримувати інформацію про хімічний склад зразку у довільно обраній ділянці мікроскопічних розмірів.

Рентгеноспектральний мікроаналіз (РСМА) в електронній мікроскопії. Для генерації характеристичного рентгенівського випромінювання використовують електронний пучок (катодний промінь) мікроскопу (рисунок 3). Просторова роздільна здатність рентгенівського мікроаналізу для растрових електронних мікроскопів знаходиться в області 1 мкм. Для трансмісійних електронних мікроскопів роздільна здатність мікроаналізу значно краща – порядку декількох нанометрів.



- 1 – катод, 2 – циліндр
Венельта, 3 – анод,
4 – конденсорна лінза, 5 –
джерело світла, 6 – окуляр, 7 –
об'єктивна лінза, 8 – об'єktiv
відбиття, 9 – детектор
випромінювання, 10 – кристал
- аналізатор

Рисунок 3 – Схема
рентгеноспектрального
мікроаналізатора

Кількісний рентгеноспектральний мікроаналіз – це відносний метод, заснований на порівнянні вимірної інтенсивності рентгенівських ліній, що генеровані у зразку, з інтенсивністю відповідних ліній у належному стандартному зразку відомого складу, при відомих токах зонду та ідентичних інших аналітичних умовах (однакове напруження прискорення, однакова геометрія встановлення зразку і стандарту, однаковий стан поверхні та ін.).

Вміст елементу розраховується як відношення інтенсивностей на зразку та стандартному еталоні при відомій концентрації елементу аналізу в останньому. Для врахування відмінностей у складах зразку та стандартного еталона, у розрахунках передумовлені поправки на матричні ефекти.

Характеристика об'єкту дослідження

Об'єктом дослідження є швидкорізальна сталь марки Р6М5Ф3 за ГОСТ 14955-77 «Сталь качественная круглая со специальной отделкой поверхности. Технические условия» та ГОСТ 19265-73 «Прутки и полосы из быстрорежущей стали. Технические условия».

Сталь Р6М5Ф3 застосовується для виготовлення чистових і напівчистових інструментів (фасонних різців, розгортки, протяжок, фрез та ін.) для механічної обробки нелегованих і легованих конструкційних сталей.

Склад сталі за вимогами ГОСТ 19265-73 представлений в Таблиці 1.

Таблиця 1 – Хімічний склад (мас. %) сталі Р6М5Ф3

C	Co	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni	P	S	Si	V	W
0,95-1,05	≤0,50	3,80-4,30	≤0,25	0,20-0,50	4,80-5,30	≤0,60	≤0,030	≤0,025	0,20-0,50	2,30-2,70	5,70-6,70

На рисунку 4 представлена мікроструктура швидкорізальної сталі марки Р6М5Ф3 [6]. На мікрофотографії нанесені точки S1 ... S32, які є позиціями електронного зонду при проведенні енергодисперсної спектроскопії РСМА.

Структура, наведена на рисунку 4, сформувалась при швидкому твердінні зразку після термічного циклювання в області перитектичного перетворення.

Структура сплаву представлена складовими: аустеніт (основа структури), δ-феррит (темні структурні складові), карбідні евтектики з різноманітними ступенями диференціювання («мережева» структура на стиках зерен), первинні по відношенню до евтектики кристали Me_2C (світлі, огранені, типу ієрогліфів).

Спектри інтенсивностей ЕДС РСМА представлені на рисунках 5 ... 8.

Порядок оформлення звіту

1. Представити у звіті фотографічне зображення, одержане методом растрового електронномікроскопічного аналізу дослідного зразку у вторинних електронах (на зразок рисунку 4 наявної Лабораторної Роботи).

2. Навести дані попереднього якісного аналізу хімічного складу сталі з урахуванням вимог ГОСТ 19265-73 та ГОСТ 14955-77 і, за даними розгляду растрового електронномікроскопічного зображення, передбачуваних мікроструктури та фазового складу об'єкту (з урахуванням інформації підрозділу «Характеристика об'єкту дослідження» наявної лабораторної роботи).

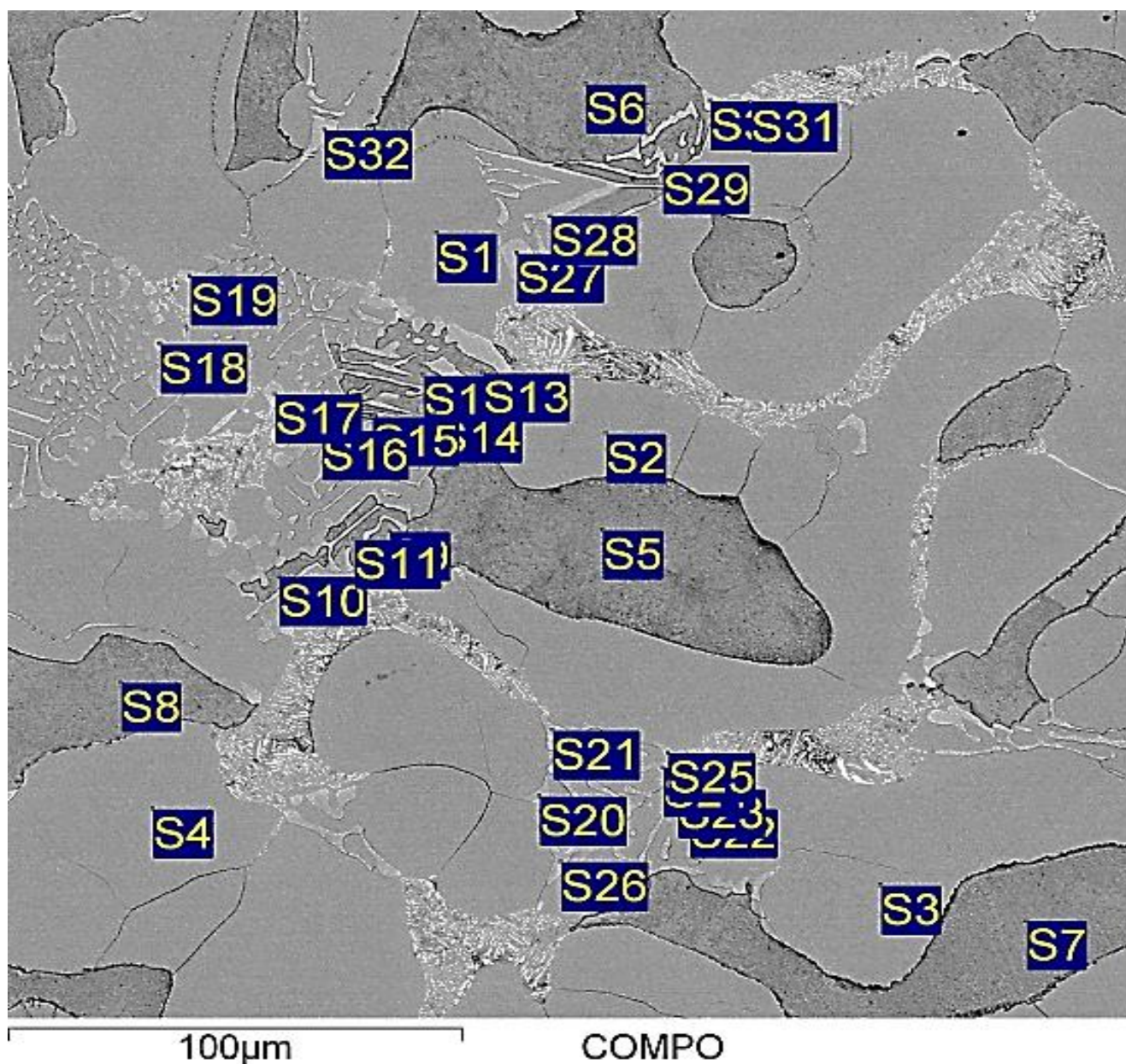


Рисунок 4 – Растрове електронно-мікроскопічне зображення у вторинних електронах мікроструктури дослідного зразку сталі марки Р6М5Ф3 за ГОСТ 19265-73

3. Представити у звіті спектри розподілення інтенсивностей хімічних елементів в локальних ділянках об'єкту дослідження (за індивідуальним варіантом завдання), одержані з використанням методу ЕДС (за подібністю до рисунків 5 ... 8 наявної Лабораторної Роботи).

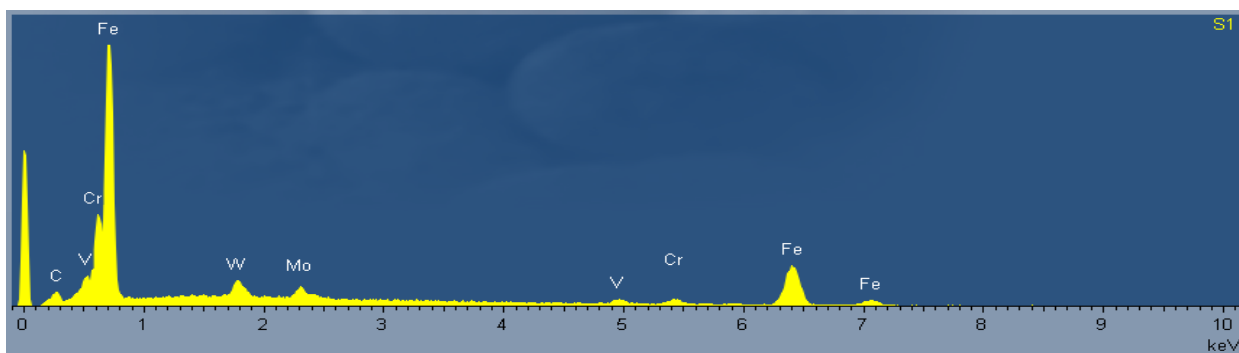


Рисунок 5 – Спектр розподілення інтенсивностей РСМА мікроструктурної ділянки об'єкту дослідження S1

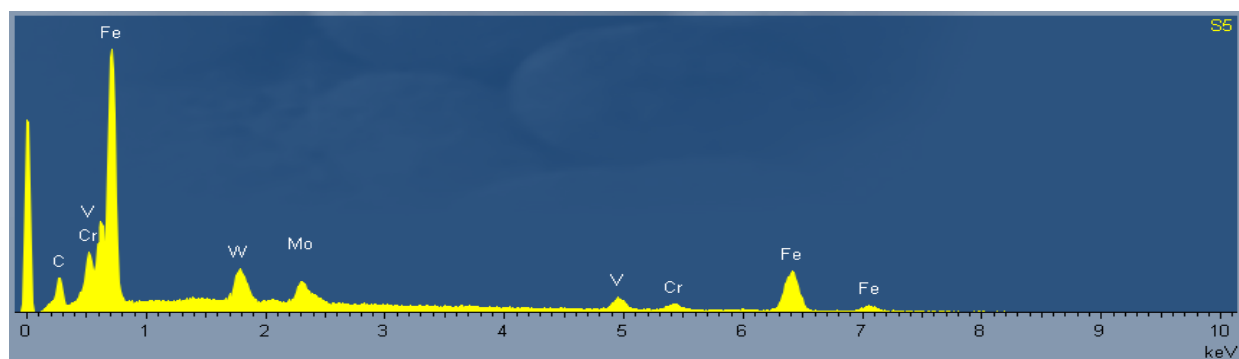


Рисунок 6 – Спектр розподілення інтенсивностей РСМА мікроструктурної ділянки об'єкту дослідження S5

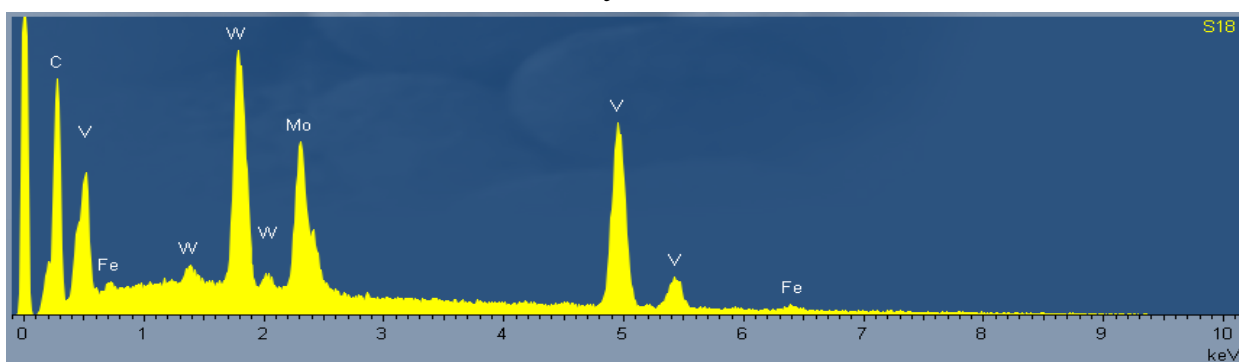


Рисунок 7 – Спектр розподілення інтенсивностей РСМА мікроструктурної ділянки об'єкту дослідження S18

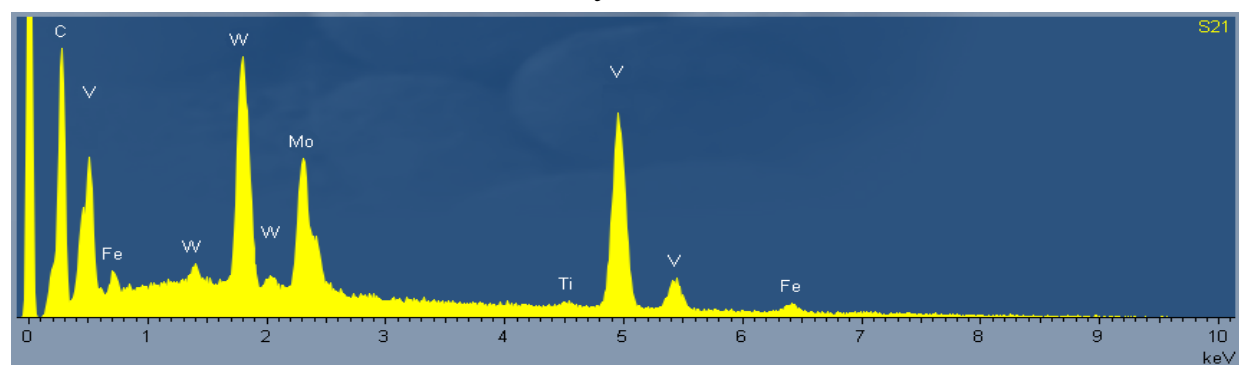


Рисунок 8 – Спектр розподілення інтенсивностей РСМА мікроструктурної ділянки об'єкту дослідження S21

4. З використанням експериментально одержаних характеристичних спектрів в локальних ділянках об'єкту дослідження, загальна мікроструктура якої представлена на растровому електронномікроскопічному зображенні у вторинних електронах (подібної до такої, що представлена на рисунку 4), здійснити розрахунок розподілення інтенсивностей хімічних елементів у мікроструктурних ділянках об'єкту дослідження (за індивідуальним варіантом завдання).

5. Результати вимірювань та розрахунків представити в табличному вигляді (колонки 1 ... 8 Таблиці 2).

Таблиця 2 – Результати рентгеноспектрального мікроаналізу

Ділянка об'єкту дослідження	Елементний склад структурної складової, %							Структурна складова
	C	V	Cr	Fe	W	Mo	Ti	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
S1								
S5								
S18								
S21								

6. За даними результатів вимірювань та розрахунків розподілення інтенсивностей хімічних елементів (колонки 2 ... 8 Таблиці 2) у мікроструктурних ділянках об'єкту дослідження (S1, S5, S18, S21 – Таблиця 2, колонка 1) провести ідентифікацію фазових та структурних складових, в локальних ділянках об'єкту дослідження.

7. Результати ідентифікації фазових та структурних складових в локальних ділянках об'єкту дослідження (Аустеніт, δ - Ферит, Карбідна евтектика, Карбід Me_2C) занести у відповідні рядки колонки 9 Таблиці 2.

8. За даними проведеного аналізу експериментальних значень Таблиці 2, сформулювати висновки про елементний склад фаз та структурних складових в обраних ділянках зразку дослідного об'єкту (за фрагментом растрового електронномікроскопічного зображення мікроструктури – див. рисунок 4).

Дати відповіді на теоретичні питання

1. Дайте визначення поняття «растр» та розкрийте його фізичний зміст.
2. Дайте визначення поняття «первинні електрони» та розкрийте його фізичний зміст.
3. Дайте визначення поняття «вторинні електрони» та розкрийте його фізичний зміст.
4. Дайте визначення поняття «рентгенівські промені» та розкрийте його фізичний зміст.
5. Дайте розлогу характеристику фізичного процесу та апаратної реалізації методу «скануюча електронна мікроскопія».
6. Дайте розлогу характеристику фізичного процесу та апаратної реалізації методу «рентгеноспектральний мікроаналіз».
7. Наведіть визначення процедури растрового електронномікроскопічного аналізу мікроструктури. Надайте характеристику цієї процедури, її призначення та способів технічної реалізації.
8. . Наведіть визначення процедури забезпечення «умовної» придатності об'єкту електронномікроскопічного дослідження. Надайте характеристику цієї процедури, її призначення та способів технічної реалізації.
9. Наведіть визначення процедури зняття електростатичного заряду об'єкту електронномікроскопічного дослідження. Надайте характеристику цієї процедури, її призначення та способів технічної реалізації.
10. Наведіть визначення процедури консервації об'єкту електронномікроскопічного дослідження. Надайте характеристику цієї процедури, її призначення та способів технічної реалізації.

6 ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ

З метою закріплення матеріалу, що був розглянутий на лекційних, практичних заняттях та самостійно опанований студентом, повинна бути виконана контрольна робота. Як допоміжний матеріал при її виконанні використовуються підручники, навчальні посібники, методичні вказівки до лабораторного практикуму та дані методичні вказівки. Робота повинна бути виконана самостійно і у повному обсязі, грамотно та акуратно, з наведенням необхідних ілюстрацій, прикладів з практики та посилань на літературні джерела.

Загальний обсяг виконаного завдання має не перевищувати 10-15 аркушів формату А 4 друкованого тексту (шрифт 14 пт, міжрядковий інтервал 1,5, відступ зліва не менше 30 мм, зверху і знизу сторінки – не менше 20 мм, ширина правого поля – не менше 10 мм), абзацний відступ повинен бути однаковим упродовж усього тексту і дорівнювати 5 знакам. Допускається виконувати завдання у вигляді рукописного тексту такого ж обсягу.

У методичних вказівках у таблиці 6.1 наведені варіанти індивідуальних завдань. Номер варіанта завдання визначається викладачем для кожного студента, зазвичай за порядком в журналі академічної групи.

Таблиця 6.1 – Варіанти індивідуальних завдань

№ варіанта	№№ питань				
1	1	23	41	54	70
2	2	24	42	55	71
3	3	25	43	56	72
4	4	26	44	57	73
5	5	27	45	58	74
6	6	28	46	59	75
7	7	29	47	60	76
8	8	30	48	61	77
9	9	31	49	62	78
10	10	32	50	63	79
11	11	33	51	64	80
12	12	34	52	65	81
13	13	35	53	66	82
14	14	36	41	67	83
15	15	37	42	68	84
16	16	38	43	69	85
17	17	39	44	54	86
18	18	40	45	55	87
19	19	23	46	56	88
20	20	24	47	57	89
21	21	25	48	58	90
22	22	26	49	59	70
23	1	27	50	60	71
24	2	28	51	61	72
25	3	29	52	62	73
26	4	30	53	63	74
27	5	31	41	64	75
28	6	32	42	65	76
29	7	33	43	66	77
30	8	34	44	67	78

ЗМІСТ

	стор.
ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛІНИ	3
1 ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ	4
2 РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ	5
3 ПРОГРАМА РОЗДІЛУ 2 «ЕЛЕКТРОННА МІКРОСКОПІЯ ТА СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕРІАЛІВ» ДИСЦИПЛІНИ «СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕРІАЛІВ»	6
4 ПИТАННЯ ДЛЯ ЗАКЛЮЧНОГО КОНТРОЛЮ	9
5 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ	15
Лабораторна робота №1 «Одержання та ідентифікування зображень і електроннограм ультратонкого об'єкту трансмісійного електронномікроскопічного метода дослідження»	
	15
Лабораторна робота №2 «Растрова електронна мікроскопія та локальний рентгеноспектральний мікроаналіз фазових і структурних складових»	
	21
6 ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ	30