


ЗАТВЕРДЖУЮ:
директор Інституту чорної металургії
ім. З.І. Некрасова Національної академії наук України,
д.т.н., с.н.с.  Олександр БАБАЧЕНКО
28.04.2023 р.

ПРОГРАМА ВСТУПУ
на навчання за освітньо-науковою програмою
3-го освітнього рівня (доктор філософії)
за спеціальністю **132 «Матеріалознавство»**



Гарант освітньо-наукової програми
зі спеціальності 132 «Матеріалознавство»
д.т.н., ст.д. Ганна КОНОНЕНКО
Протокол №2 від 20.04.2023

Дніпро - 2023

ПРОГРАМА
вступного іспиту до аспірантури
за спеціальністю 132 «Матеріалознавство»

Програма складено відповідно до вимог Міністерства освіти і науки України, Закону України від 06 вересня 2014 р. «Про вищу освіту», постанови Кабінету міністрів України від 23 березня 2016 р. № 261 «Про затвердження Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у вищих навчальних закладах (наукових установах)» та наказу Міністерства освіти і науки України від 15 березня 2023 року № 276 «Порядок прийому на навчання для здобуття вищої освіти в 2023 році» (<https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/vstup-2023/15.03.2023/Nakaz.MON.276.vid.15-03-2023-yustovanyu.pdf>).

Метою вступних випробувань зі спеціальності 132 Матеріалознавство на навчання для здобуття ступеня доктора філософії є з'ясування рівня систематизації та узагальнення рівня теоретичних знань та практичних навиків самостійної роботи для розв'язання конкретних завдань у галузі знань механічної інженерії.

Фахівець з матеріалознавства повинен бути підготовленим для організаційної, наукової, конструкторської та технологічної роботи в галузі матеріалознавства та виконувати професійну роботу згідно Державного переліку професій, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 1117 від 11 вересня 2007 року (зі змінами та доповненнями) і займати первинні посади згідно довідника кваліфікаційних характеристик професій працівників з урахуванням вимог Положення про ступеневу професійно-технічну освіту, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 3 червня 1999 року № 956, Державного стандарту професійно-технічної освіти, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 серпня 2002 року № 1135: молодший науковий співробітник, науковий співробітник, молодший науковий співробітник (галузь інженерної справи), науковий співробітник (галузь інженерної справи), науковий співробітник консультант (галузь інженерної справи), інженер-дослідник.

Під час підготовки до випробування необхідно звернути увагу на те, що вступник повинен:

знати:

- новітні світові досягнення науки, техніки та технологій в галузі матеріалознавства та суміжних сферах, наукові статті у сфері матеріалознавства, сучасні світові досягнення в галузі матеріалознавства;

- знати та уміти аналізувати сучасний стан матеріалознавства та розробляти критерії підбору матеріалу,

- вміти керувати структурою та фізико-хімічними процесами в матеріалах для створення матеріалів із заданими структурами та властивостями.

– основи кристалічної будови твердих металів, будови металічних розплавів, фазових перетворень металів та сплавів;

– фізико-хімічні основи термічної та інших видів обробки металів;

– сучасні методи досліджень та контролю структури та властивостей металів і сплавів;

вміти:

– оцінювати вплив методу отримання матеріалу/виробу на його властивості, довговічність, собівартість;

– обирати та застосовувати методи виготовлення та методи дослідження структури та фізико-хімічних, механічних експлуатаційних властивостей матеріалів/виробів.

Перелік тем та рекомендованої літератури для вступного іспиту до аспірантури за освітньо-науковою програмою 132 «Матеріалознавство» додається.

Тема: Теоретичні основи матеріалознавства

1. Кристалічна будова матеріалів. Електронна будова матеріалів. Типи міжатомного зв'язку: іонні, ковалентні, металічні та молекулярні зв'язки. Кристалічна будова твердих тіл. Елементи симетрії кристалів і кристалічної структури. Атомні та іонні радіуси. Координаційні числа. Основні типи просторових решіток в металах та їх характеристика. Поліморфізм. Анізотропія фізичних властивостей кристалів. 4 Будова реальних кристалів. Класифікація дефектів решіток: точкові, лінійні, поверхневі та об'ємні.

2. Основи електронної теорії твердих тіл. Електронна теорія міжатомного зв'язку. Теплопровідність, електропровідність і електронна теплоємність металів. Напівпровідникові і діелектричні властивості твердих тіл. Власна і домішкова провідність напівпровідників. Магнітні властивості матеріалів. Діамагнетизм, парамагнетизм, феромагнетизм. Магнітострикція. Металічні і керамічні магніти.

3. Основи молекулярно-кінетичної теорії металів. Тепловий рух атомів у металах. Коливання решітки, теплоємність і теплове розширення, його зв'язок з кристалічною будовою і властивостями металів. Дифузія в твердому тілі. Механізм дифузії. Залежність параметрів дифузії від температури. Самодифузія. Анізотропія дифузії. Зерногранична та поверхнева дифузія.

4. Кристалізація. Термодинаміка процесу кристалізації. Утворення і ріст зародків твердої фази. Кінетика кристалізації, фактори, що впливають на кристалізацію. Величина зерна. Модифікування рідкого металу. Форма кристалів, побудова зливка. Одержання монокристалів. Вторинна кристалізація.

5 Будова металевих сплавів Типи взаємодії компонентів в металевих сплавах. Механічні суміші. Хімічні сполуки. Тверді розчини на базі одного з компонентів сплаву, їх типи та загальні властивості. Тверді розчини на базі хімічних сполук. Впорядковані тверді розчини. Фази Лавеса та інтерметалідні сполуки. Фази впровадження. Електронні сполуки. Аморфні сплави. Методи отримання, структура, властивості, особливості застосування. Нанокристалічні сплави. Методи отримання, структура, властивості, особливості застосування.

6 Діаграми стану подвійних систем Загальна характеристика діаграм стану. Методи побудови і зображення подвійних діаграм фазової рівноваги. Правило фаз Гіббса. Правило відрізків. Типові діаграми стану подвійних сплавів. Діаграма з необмеженою розчинністю у рідкому та твердому стані. Діаграма з евтектичним перетворенням та обмеженою розчинністю компонентів в рідкому стані. Трикутник Таммана. Діаграма з перетектичним перетворенням. Подвійні діаграми з проміжними фазами. Діаграми стану із стійкими хімічними сполуками. Діаграми стану із нестійкими хімічними сполуками, що утворюються в твердому стані. Діаграми стану з неповною розчинністю або обмеженою розчинністю компонентів в рідкому стані. Діаграма з монотектичним перетворенням. Діаграми з поліморфним перетворенням. Взаємозв'язок між структурою та властивостями (закони Курнакова).

7 Діаграми стану потрійних систем Загальні закономірності побудови потрійних діаграм. Способи визначення хімічного складу трьохкомпонентних сплавів. Правило важеля (правило відрізків). Правило центру маси конодного трикутника. Типові діаграми стану потрійних сплавів. Діаграма стану потрійних систем з необмеженою розчинністю компонентів у рідкому і твердому стані. Діаграма з відсутністю розчинності компонентів в твердому стані з потрійною евтектикою. Кристалізація типових сплавів.

Рекомендована література:

1. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Металловедение и термическая обработка металлов. - М.: Машиностроение, 1990. - 510 с.

2. Гуляев А.П. Металловедение. - 5-е изд. - М.: Металлургия, 1977. -643 с.

3. Лифшиц Б.Г. Металлография. - М.: Металлургия, 1971. - 404 с.

4. Афтанділянц Є. Г. Матеріалознавство: підручник / Є. Г. Афтанділянц, О. В. Зазимко, К. Г. Лопатько. – Київ : Вища освіта, 2012. – 548 с.
5. Гарнець В. М. Конструкційне матеріалознавство: Підручник / В. М. Гарнець, В. М. Коваленко. – Київ : Либідь, 2007. – 384 с.
6. Гарнець В. М. Матеріалознавство : підручник / В. М. Гарнець. – Київ : Кондор, 2010. – 386 с.
7. Матеріалознавство [Текст] : підручник / С. С. Дяченко, І. В. Дощечкіна, А. О. Мовлян та ін. ; ред. С. С. Дяченко ; Харківський нац. автомобільно-дорожній ун-т. – Харків : ХНАДУ, 2007. – 440 с.
8. Садовский В.Д. Структурная наследственность стали. - М.: Металлургия, 1973.- 206 с.
9. Кшнякин В. С. Основи фізичного матеріалознавства: навч. посіб. / В. С. Кшнякин, А. С. Опанасюк, К. О. Дядюра. – Суми, 2015. – 466 с.

Тема: Механічні властивості матеріалів

1. Міцність і пластичність матеріалів. Тензор напружень і тензор деформацій. Пружні константи металів. Теорія деформації. Типи напруженого стану матеріалів. Плоский напружений стан. Концентрація напружень. Механічні характеристики матеріалів. Кооперативні процеси переміщення атомів. Процеси ковзання та двійникування. Дислокації. Крайові, гвинтові і змішані дислокації. Вектор Бюргерса. Ковзання і переповзання дислокацій. Утворення дислокацій. Деформування монокристалів і полікристалів. Вплив пластичної деформації на структуру і властивості матеріалів. Вплив границь зерен на пластичну деформацію полікристалів. Зміцнення матеріалів. Деформаційне зміцнення при створенні твердих розчинів і взаємодія дислокацій з домішками. Рівняння Холла-Петча. Дисперсійне твердіння. Тріщиностійкість.
2. Руйнування матеріалів. Види і механізми руйнування. В'язкість руйнування. Підходи лінійної механіки руйнування до вибору конструкційних матеріалів і розрахунку розміру допустимого дефекту. Методи визначення тріщиностійкості. Конструкційна міцність. Критерії конструкційної міцності. Надійність і довговічність.
3. Вплив температури на механічні властивості матеріалів. Залежність границь текучості і ударної в'язкості матеріалів від температури. Явище факторів. Поводження матеріалів при низьких (гелієвих) температурах. Повзучість, тривала міцність, релаксація напружень. Типи і механізми повзучості в металах. Вплив структури, часу і швидкості деформації на процес руйнування в умовах високих температур. Мікромеханізми руйнування. Методи випробування при високих температурах. Застосування підходів механіки руйнування для прогнозування довговічності і швидкості повзучості. Термоактиваційний аналіз повзучості.
4. Механічні властивості при циклічному навантаженні. Природа явищ втоми. Механізм втомленого руйнування. Крива втоми. Кінетичні діаграми втомного руйнування. Застосування підходів лінійної механіки руйнування для прогнозування довговічності при циклічному навантаженні. Порогові значення коефіцієнтів інтенсивності напруження. Вплив структури і умов навантаження на характеристики тріщиностійкості матеріалів при циклічному навантаженні в умовах багатоциклічної і малоциклічної втоми та в умовах корозійного середовища. Термічна втомленість, термічний удар, термостійкість. Вибір матеріалів для роботи в умовах корозії, багатоциклічних і малоциклічних термічних навантажень.
5. Вплив зовнішнього середовища. Адсорбційні процеси при деформації і руйнуванні металів. Ефект Ребіндера. Вплив поверхневоактивних середовищ на міцність металів і сплавів. Корозія металів, види корозії. Закономірність окислення металів. Захист металів від окислення. Корозія металів і сплавів під напругою, корозійне розтріскування. Міжкристалітна корозія. Підхід лінійної механіки руйнування до оцінки працездатності

матеріалів з тріщиною під впливом середовищ. Опірність кавітаційному і ерозійному руйнуванню.

Рекомендована література:

1. Андрейків О.Є., Гембара О.В. Механіка руйнування та довговічність металевих матеріалів у водневмісних середовищах. 343 с.
2. Котречко С.А., Мешков Ю.Я. Предельная прочность. Кристаллы, металлы, конструкции. 295 с.
3. Владимиров В. И. Физическая природа разрушения металлов / В. И. Владимиров. – М. : Металлургия, 1984. – 280 с.
4. Костин П. П. Физико-механические испытания металлов, сплавов и неметаллических материалов / П. П. Костин. – М. : Машиностроение, 1990. – 256 с.
5. Трефилов В. И. Физические основы прочности и пластичности тугоплавких металлов / В. И. Трефилов, Ю. В. Мильман, С. А. Фирстов. – Киев: Наукова думка, 1975. – 315 с.
6. Орован Е. Классическая дислокационная теория хрупкого разрушения / Е. Орован. – М. : Металлургия, 1963. – 170 с.
7. Черепанов Г. П. Механика хрупкого разрушения / Г. П. Черепанов. – М.: Наука, 1974. – 640 с.
8. Структура и свойства автолистовой стали / В.Л. Пилюшенко, А.И. Яценко, Н.И. Репина, Г.В. Кругликова. - М.: Металлургия, 1996. - 164 с.
9. Бокштейн С.З. Строение и свойства сплавов. - М.: Металлургия, 1971.-496 с.
10. Гольдштейн М.И., Фабер В.М. Дисперсионное упрочнение стали. -М.: Металлургия, 1979. - 208 с.
11. Орлов А.Н., Переверзенцев В.Н., Рыбин В.В. Границы зерен в металлах. - М.: Металлургия, 1980. - 156 с.
12. Глейтер Г., Чалмерс Б. Большеугловые границы зерен / Пер. с англ. -М.: Мир, 1975.-375 с.

Тема: Метали та сплави в машинобудуванні

1. Конструкційна міцність матеріалів. Критерії міцності, надійності, довговічності та зносостійкості. Методи підвищення конструкційної міцності.
2. Конструкційні вуглецеві та леговані сталі. Вимоги, які пред'являються до конструкційних сталей. Металургійна якість сталей Класифікація вуглецевих сталей за якістю, структурою і областям використання. Вплив вуглецю і домішок на властивості вуглецевих сталей. Вуглецеві якісні сталі. Автоматні сталі. Вуглецеві інструментальні сталі.
3. Леговані сталі. Вплив легувальних компонентів і домішок на дислокаційну структуру і властивості сталей. Класифікація і маркування легованих сталей. Сталі, які піддають цементуванню (нітроцементуванню) леговані сталі. Покращувані леговані сталі. Пружинні сталі загального призначення. Шарикопідшипникові сталі. Зносостійкі сталі.
4. Високоміцні мартенситно-старіючі сталі. Принципи легування. Мартенситне перетворювання. Вплив легувальних елементів на кінетику фазових перетворювань та особливості термічного оброблення. Економно леговані мартенситно-старіючі сталі. Властивості мартенситно-старіючих сталей і області використання.
5. Конструкційні та корозійно-тривкі сталі. Загальні принципи легування і структура корозійно-тривких сталей. Хромисті, хромонікелеві, хромомарганцево-нікелеві і хромозотисті аустенітні сталі. Високолеговані кислотостійкі сталі. Жаростійкі та окалиностійкі сталі.
6. Жароміцні сталі і сплави. Принципи легування жароміцних сталей і сплавів. Зміцнювальні фази. Жароміцні сталі перлітного і мартенситного класів. Жароміцні сталі аустенітного класу з карбідним та інтерметалідним зміцнюванням. Жароміцні і жаростійкі

нікелеві сплави. Термічне оброблення жароміцних нікелевих сплавів. Тугоплавкі метали та сплави на їх основі. Области використання в машинобудуванні.

7. Інструментальні сталі. Класифікація інструментальних сталей за теплостійкістю, структурою і областям використання. Швидкорізальна сталь та особливості її термічного оброблення. Штампові сталі для деформування в гарячому і холодному стані. Сталі форм для лиття під тиском і пресування.

8. Чавуни. Властивості й призначення чавунів, принципи класифікації. Білі, сірі, високоміцні й ковкі чавуни. Фазові перетворення при термічному обробленні чавуну. Використання у машинобудуванні.

9. Кольорові метали і сплави. Алюміній і його сплави. Класифікація алюмінієвих сплавів. Деформівні алюмінієві сплави. Ливарні алюмінієві сплави. Особливості термічного оброблення. Спечені алюмінієві сплави. Технологічні та механічні властивості. Области використання алюмінію і його сплавів.

Магній та його сплави. Класифікація магнієвих сплавів. Деформівні та ливарні сплави. Термічне оброблення магнієвих сплавів. Захист магнієвих сплавів від корозії.

Мідь та її сплави. Вплив домішок на структуру та властивості міді. Класифікація мідних сплавів. Латуні, їх властивості. Будова і властивості олов'яних, алюмінієвих, свинцевих, марганцевистих і берилієвих бронз. Мідно-нікелеві сплави. Области використання міді та її сплавів.

Титан і його сплави. Класифікація легувальних елементів і типи сплавів титану. Механічні, технологічні та корозійні властивості титанових сплавів. Воднева крихкість титанових сплавів. Конструкційні і жароміцні сплави титану. Особливості термічного оброблення.

Цинк, свинець, олово та їх сплави. Припої на олов'янистій і свинцевій основах. Антифрикційні сплави.

Рекомендована література:

1. Марочник сталей и сплавов / В.Г. Сорокин, А.В. Волосникова, С.А. Вяткин и др.; Под ред. В.Г. Сорокина. - М.: Машиностроение, 1989. - 640 с.

2. Винокур Б.Б., Пилюшенко В.Л., Касаткин О.Г. Структура конструкционной легированной стали. - М.: Металлургия, 1983. - 216 с.

3. Браун М.П., Александрова Н.П., Тихоновская Л.Д. Микролегирование литых жаропрочных сталей. - К.: Наук. думка, 1974. - 240 с.

4. Чейлях А.П. Экономнолегированные метастабильные сплавы и упрочняющие технологии. - Харьков: ННЦ ХФТИ, 2003. - 212 с.

5. Захаров В.В., Захаров А.М. Жаропрочные сплавы. - М.: Металлургия, 1972. - 384 с.

6. Туманов А.Т. Конструкционные материалы: Справочник: В 3 т. - М.: Сов. энциклопедия, 1964.

7. Савицкий Е.М., Бурханов С.Г. Металловедение сплавов тугоплавких и редких металлов. - М.: Наука, 1971. - 352 с.

8. Климов О. В. Сталі та сплави з особливими властивостями: навч. посіб. / О. В. Климов, Ю. І. Кононенко, В. Л. Грешта. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2014. –315 с.

9. Кольорові метали і сплави: навч. посіб. /Грешта В. Л., Климов О. В., Лисиця О. В. та ін. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2015.– 336 с.

10. Конструкційні та функціональні матеріали: навч. посіб. : у 2 ч. Ч. 2. Функціональні матеріали. Технічна діагностика матеріалів і виробів / Бабак В. П., Байса Д. Ф., Різак В. М. та ін. – Київ : Техніка, 2004. – 368 с.

11. Куцова В. З. Спеціальні сплави, рідкоземельні та благородні метали. Навч. посіб. / В. З. Куцова, М. А. Ковзель, О. А. Носко. – Дніпропетровськ : НМетАУ. – 2007. – 162 с.

12. Руденко Л. Ф. Леговані сталі та сплави: навч. посіб. / Л. Ф. Руденко, Т. П. Говорун. – Суми : Сумський державний університет, 2012. – 171 с.

13. Хімічна корозія та захист металів: навч. по-сіб. / Стоєв П. І., Литовченко С. В., Гірка І. О., Грицина В. Т. – Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2019. – 216 с.

Тема: Термічна обробка

1. Класифікація видів термічної обробки. Параметри термічної обробки. Загальні положення термічної обробки металів. Теоретичні основи фазових та структурних перетворень у металах і сплавах. Практична класифікація видів термічної та комбінованих структурних обробок металовиробів.

2. Теоретичні основи фазових та структурних перетворень у металах і сплавах. Перетворення аустеніту при нагріванні. Механізм та кінетика перетворень аустеніту. Перетворення у сталях при нагріванні до аустенітного стану і вплив розміру зерен на властивості сталей. Перетворення аустеніту при охолодженні. Діаграми перетворення. Перетворення аустеніту при охолодженні. Діаграми перетворення. Дифузійне перетворення аустеніту при охолодженні сталей. Діаграми перетворення переохолодженого аустеніту.

3. Відпали I роду. Призначення, відмінні ознаки відпалів I роду. Стан виробів, які підлягають відпалам I роду. Параметри режимів відпалів, структура та властивості, які формуються у металі, вплив різних факторів на хід та результати процесів термообробки.

4. Відпали II роду. Призначення, відмінні ознаки відпалів II роду. Стан виробів, які підлягають відпалам II роду. Водень у сталях. Флокени та протифлокенна обробка сталей і сплавів. Параметри режимів відпалів, структура та властивості, які формуються у металі, вплив різних факторів на хід та результати процесів термообробки.

5. Мартенситні перетворення у сталях та сплавах. Мартенситне перетворення. Гартування сплавів. Гартування на мартенсит (з поліморфним перетворенням) та на пересичений твердий розчин (без поліморфного перетворення). Загартованість та прогартовуваність. Нагрів та охолодження металовиробів при термічній обробці. Охолоджуючі середовища і способи охолодження металовиробів. Призначення режимів гартування різних типів.

6. Хіміко-термічна обробка сталей і сплавів. Загальні закономірності. Цементування з наступним термічним оброблянням. Азотування. Вплив легувальних компонентів на товщину, твердість і зносостійкість азотованого шару. Структура і властивості азотованої сталі. Нітроцементування сталі. Дифузійне металування: алітування, хромування, силіціювання і т. п. Багатокомпонентні покриття. Дифузійне насичування в йонізованих газових середовищах.

7. Термомеханічне обробляння. Основні види: попереднє високотемпературне, низько температурне термомеханічне обробляння. Структура і властивості матеріалів після термомеханічного обробляння.

Рекомендована література:

1. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов. - М.: Металлургия, 1974.-400 с.

2. Блантер М.Е. Теория термической обработки. - М.: Металлургия, 1984.-328 с.

3. Лысак Л.И., Никулин Б.И. Физические основы термической обработки стали. - К.: Технпса, 1975. - 304 с.

4. Хачатурян А.Г. Теория фазовых превращений и структура твердых растворов. - М.: Наука, 1974. - 384 с.

5. Кристиан Дж. Теория превращений в металлах и сплавах / Пер. с англ. - М.: Мир, 1978.- 806 с.

6. Молчанов В. Ф. Термічна обробка деталей машин. Навч. посіб. / В. Ф. Молчанов. – Дніпродзержинськ : Видавництво ДДТУ, 2008. – 216 с.

7. Погребна Н. Е. Способи зміцнення металів. Навч. посіб. / Н. Е. Погребна, В. З. Куцова, Т. В. Котова. – Дніпро : НМетАУ, 2021.– 89 с.

Тема: Сучасні методи дослідження матеріалів

1. Методи дослідження структури, фазового складу. Металографія. Просвічуюча і скануюча електронна мікроскопія. Рентгеноструктурний аналіз. Мікрорентгеноспектральний аналіз.

2. Методи дослідження механічних властивостей. Класифікація методів механічних випробувань. Значення механічних характеристик в матеріалознавстві.

Механічні властивості, які визначаються при статичному навантаженні. Випробування на розтяг, стиск, вигин, крутіння, тріщиностійкість. Вплив легування, структури концентраторів напружень та масштабного фактору на характеристики механічних властивостей.

Механічні властивості, які визначаються при динамічному навантаженні. Вплив швидкості деформування на характеристики міцності і пластичності. Динамічні випробування на згин зразків. Ударна в'язкість. Методи визначання ударної в'язкості та її складових.

Механічні властивості, які визначаються при циклічному навантаженні. Втома, діаграми втоми, границя витривалості. Малоциклова і багатоциклова втома. Природа втомного руйнування. Вплив різних факторів на опір втоми.

Випробування на твердість вдавленням і дряпанням. Триботехнічні випробування.

3. Методи дослідження фізичних властивостей і фазових перетворень в металах і сплавах. Магнітний аналіз фазових і структурних перетворень. Метод Е.Д.С.

4. Методи неруйнуючого контролю матеріалів. Ультразвукова дефектоскопія. Рентгенівська дефектоскопія. Методи вихрових струмів. Магнітна і теплова дефектоскопія.

Рекомендована література:

1. Говорун Т. П. Фізичні властивості і методи дослідження матеріалів: навч. посіб. / Т. П. Говорун, А. Ф. Будник, В. Б. Юскаєв. – Суми : Сумський державний університет, 2014. – 255 с.

2. Загородній В. В. Локальні методи досліджень: підручник для студентів спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали» / В. В. Загородній ; КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 323 с.

3. Канарчук В. Є. Методи дослідження металів: навч. посіб. / В. Є. Канарчук, В. І. Шевченко. – Київ : НТУ, 2001. – 98 с.

4. Рябічева Л.О. Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів: Навчальний посібник. - Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля. 2013. - 356 с.

5. Горицкий В.М. Диагностика металлов. - М.; Металлургия, 2004.-408с

6. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник. /В.В. Клюев, Ф.Р. Соснин, В.Н. Филинов и др.; Под ред. В.В. Клюева. — М.: Машиностроение, 1995. - 488 с.

7. Машиностроение. Энциклопедия \Ред. совет: К.В. Фролов (председ.) и др.-М.: Машиностроение. М38 Физико-механические свойства. Испытания металлических материалов. Т.П-1 \ Л.В. Агамиров, М.А. Алимов и др.; под общ. ред Е.И. Мамаевой. 2010. -852с

8. Методи дослідження фізико-механічних властивостей матеріалів: Навч. посіб. / Веселовська Н. Р., Посвятенко Е. К., Солоня О.В. та ін. – Вінниця : 2018. – 150 с.

9. Холяк В. В. Фізичні властивості та методи дослідження матеріалів: навч. посіб. для студентів галузі знань 13 – Механічна інженерія спеціальності 132 – Матеріалознавство денної та заочної форм навчання / В. В. Холяк, І. А. Владимирський, О. О. Жабинська. – Київ : Центр учбової літератури, 2016. – 156 с.