НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАННЯ ІМ. Є.О. ПАТОНА

ЗАТВЕРДЖЕНО:
Директор Інституту електрозварювання
ім. Є.О. Патона НАН України
академік НАН України

_____ Ігор КРІВЦУН

ПРОГРАМА
вступного іспиту до аспірантури
зі спеціальності G8 Матеріалознавство

Рівень вищої освіти: третій (освітньо-науковий)
Галузь знань: G Інженерія, виробництво та будівництво
Освітньо-наукова програма: Матеріалознавство

СХВАЛЕНО
Вченою радою Інституту електрозварювання
ім. Є.О. Патона НАН України
протокол №26 від 25 червня 2026р.

КИЇВ–2026

1. ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Головним завданням вступного іспиту за програмою вступного іспиту за спеціальністю G8 Матеріалознавство є визначення в абітурієнтів на навчання за освітньо-науковою програмою «Матеріалознавство» третього рівня освіти їх рівня знань з матеріалознавства та споріднених галузей.

Мета вступного іспиту в аспірантуру Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України за спеціальністю G8 Матеріалознавство полягає в оцінці рівня знань абітурієнта в ключових темах матеріалознавства та технологій матеріалів та відбір найкращих кандидатів, які мають потенціал і мотивацію досягти успіху у вивченні та застосуванні знань з матеріалознавства та споріднених галузей при проведенні власних наукових досліджень та реалізації інноваційних проектів.

Програма вступного іспиту для вступу на освітньо-наукову програму «Матеріалознавство» на здобуття освітнього ступеня доктор філософії за спеціальністю G8 Матеріалознавство складена на основі типових освітніх програм з прикладної фізики та матеріалознавства закладів вищої освіти України. Іспит проводиться за п’ятьма основними темами, а саме: теоретичні основи матеріалознавства, основи металознавства, теорія та технології з’єднання матеріалів, методи характеризації матеріалів і конструкцій, прогресивні матеріали та технології. Рівень сформованості знань абітурієнтів відповідно до освітньо-кваліфікаційної характеристики має задовольняти наступним загальним вимогам:

- глибоке знання фундаментальних фізичних принципів, які лежать в основі сучасного матеріалознавства, а також здатність до критичного аналізу теоретичних моделей і концепцій у сфері структури, властивостей та поведінки матеріалів;
- здатність самостійно формулювати наукову проблему, обґрунтовувати вибір методів дослідження та планувати експеримент у контексті актуальних напрямів матеріалознавства;
- знання сучасних методів характеризації матеріалів і конструкцій, а також уміння інтерпретувати результати з урахуванням особливостей мікроструктури;
- розуміння сучасних технологій виготовлення, з’єднання та обробки матеріалів з позицій фізико-хімічних процесів, які визначають кінцеві властивості, і здатність до їх оптимізації відповідно до вимог експлуатації;
- знання принципів проектування нових матеріалів, а також їх роль у наукомістких галузях;
- вміння працювати з міждисциплінарною науковою інформацією, інтегрувати знання з фізики, хімії, механіки, інформатики та екології для вирішення складних задач у матеріалознавстві;
- розуміння концепції сталого розвитку, принципів ресурсоефективності та екодизайну в контексті життєвого циклу матеріалів і технологій їхнього виробництва та утилізації;
- володіння та вмотивоване використання наукової термінології в галузі матеріалознавства та споріднених спеціальностях;

- готовність до самостійної дослідницької діяльності, участі у наукових проектах і міждисциплінарних командах, формулювання нових наукових ідей та концепцій.

Виконання завдань вступного іспиту зі спеціальності G8 Матеріалознавство передбачає необхідність неухильного дотримання норм і правил академічної доброчесності. За їх порушення абітурієнти притягаються до відповідальності згідно правил і положень Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України та вимог чинного законодавства.

2. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ІСПИТУ

Склад приймальної комісії формується відповідно наказу Директора Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України. Іспит проводиться в усній формі. На іспиті абітурієнтам пропонується комплект білетів, кожен з яких складається з трьох теоретичних питань відповідно змісту програми (див. Розділ 4). Ознайомившись з питаннями білета, абітурієнт готує відповіді, у яких демонструє рівень своїх знань. В процесі відповіді члени приймальної комісії мають право задавати уточнюючі питання для визначення повноти розуміння абітурієнтом конкретної теми, а також сформованості аналітичного та критичного мислення та наукової зрілості.

Вступний іспит проводять лише за затвердженим комплектом екзаменаційних білетів. Під час вступного іспиту дозволяється користуватися ручкою та наданими листами вступного іспиту. При виявленні факту використання недозволених матеріалів чи приладів приймальна комісія має право припинити іспит для абітурієнта та виставити незадовільну оцінку.

Перескладання вступного іспиту не дозволяється.

Абітурієнт може подати апеляцію щодо результату вступного іспиту лише в день оголошення результатів цього іспиту.

При однаковому конкурсному балі вищу позицію в рейтинговому списку посідає абітурієнт, який має:

– вищий середній бал додатка до диплома;

– більшу кількість наукових статей у виданнях, що включені до наукометричних баз даних WoS та/або Scopus;

– більшу кількість статей у наукових періодичних виданнях інших держав, які входять до Організації економічного співробітництва та розвитку та/або Європейського Союзу;

– більшу кількість статей у наукових фахових виданнях України;

– більшу кількість патентів на винаходи (авторських свідоцтв про винаходи);

– більшу кількість англомовних матеріалів міжнародних конференцій, що індексуються наукометричними базами даних WoS та/або Scopus;

– більшу кількість тез доповідей на міжнародних конференціях.

3. КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЗНАНЬ АБІТУРІЄНТА НА ВСТУПНОМУ ІСПИТІ

За відповідь на кожне з трьох питань білету абітурієнт отримує оцінку від 0 до 100. Критерії оцінювання відповідей наступні:

– вичерпні та повні відповіді на питання білету та на додаткові питання, які демонструють розуміння абітурієнтом відповідної теми, використання сучасних уявлень в матеріалознавстві та споріднених галузях, усвідомлене розуміння сучасних теорій матеріалознавства, вільне та коректне володіння науковою термінологією, оцінюється в **90-100 балів**;

– майже вичерпні відповіді на питання білету з можливими неповними або неточними відповідями на додаткові питання за відповідною темою, неповне узагальнення у відповідях, вільне та коректне володіння науковою термінологією, оцінюється в **75-89 балів**;

– часткове розкриття суті питань, неточності в розумінні відповідної теми, недостатня аргументація у формулюванні власних тверджень, недостатнє використання необхідної термінології, оцінюється в **60-74 балів**;

– відсутність відповіді, поверхневі або принципово помилкові відповіді на питання за відповідною темою, нерозуміння суті поставлених питань, незнання термінології та основ відповідних фізичних явищ чи технологічних процесів, оцінюється в **0-59 балів**.

Сумарна оцінка за відповідь по всім трьом питанням білету переводиться в оцінку за 200-бальну систему q_Σ за наступною формулою з округлення до цілих значень:

$$q_\Sigma = 100 + \frac{1}{3} \cdot \sum_{i=1}^{3} q_i$$

де q_1, q_2, q_3 – відповіді на перше, друге та третє питання білету, відповідно.

Відповідність отриманих балам оцінці за національною та європейською шкалами визначається у відповідності із Таблицею.

Оцінка за іспит за 200-бальною шкалою	Оцінка за іспит за шкалою ECTS	Оцінка за іспит за національною шкалою
190-200	A	Відмінно
185-189	B	Добре
175-184	C	
165-174	D	Задовільно
160-164	E	
Менше 160	FX	Незадовільно

Мінімальна кількість балів із вступного іспиту, з якими абітурієнт допускається до участі у конкурсі, становить **160 балів**.

Список рекомендованої для підготовки до вступного іспиту літератури наведено в Розділі 5.

4. ЗМІСТ ПРОГРАМИ ВСТУПНОГО ІСПИТУ

РОЗДІЛ 1. Теоретичні основи матеріалознавства.

1.1. *Кристалічна будова матеріалів*. Типи кристалічних ґраток металів і сплавів. Симетрія у кристалічних структурах, класи симетрії, сингонії. Ґратка Браве. Поліморфізм металів. Аморфні матеріали

1.2. *Енергія міжатомної взаємодії*. Типи міжатомного зв'язку: іонні, ковалентні, металічні та молекулярні зв'язки. Потенціали Леннарда-Джонса, Кулона, Морзе. Енергія зв’язку, її роль у визначенні міцності, температури плавлення, теплопровідності матеріалів. Принципи атомістичного та молекулярного моделювання матеріалів.

1.3. *Основи термодинаміки*. Види термодинамічних систем. Закони термодинаміки. Внутрішня енергія, ентальпія, ентропія, вільна енергія Гельмгольца, потенціал Гіббса, температура. Умови термодинамічної рівноваги, принцип мінімуму вільної енергії. Термодинаміка багатокомпонентніх систем.

1.4. *Фазові діаграми стану*. Рівноважні діаграми стану. Нерівноважні ізотермічні та термокінетичні діаграми стану. Основні поняття (компоненти, фази, спупені свободи). Критичні точки діаграм. Діаграми однокомпонентих систем. Бінарні діаграми (евтектичні, перитектичні, монотектичні, евтектоїдні, перетектоїдні). Чотири основних типів бінарних діаграм стану. Діаграми потрійних систем, концентраційний трикутник Гіббса – Розебома. Правило важеля. Діаграма стану системи залізо-вуглець.

1.5. *Поняття про дифузію*. Вакансійний та міжвузловий механізми дифузії. Коефіцієнт дифузії. Перший та другий закон Фіка. Термодифузія. Реакційна дифузія. Роль дифузії у фазоутворенні та термічній обробці матеріалів. Дифузійні ефекти у транспортній зоні (Френкеля, Кіркендала, Горського).

1.6. *Дефекти кристалічної ґратки*. Класифікація дефектів. Нуль-, одно-, дво- та тривимірні дефекти. Дефект Френкеля. Дефект Шотткі. F-центри іонних кристалів. Енергія та стабільність дефектів. Вплив дефектів на механічні властивості матеріалів.

1.7. *Елементи теорії дислокацій*. Типи дислокацій. Контур та вектор Бюргерса. Механізми зародження та руху дислокацій. Взаємодія між дислокаціями та іншими дефектами кристалічної ґратки. Атмосфери домішкових атомів (Коттрела, Снука, Судзукі). Взаємодія між дислокаціями та включеннями. Роль дислокацій у деформаційному зміцненні матеріалів. Методи дослідження дислокацій в кристалічній ґратці.

1.8. *Пластичність матеріалів*. Механізми ковзання та двійникування. Мікромеханізми пластичності (дифузійна, краудіонна, дислокаційна, двійнікуванням, внаслідок фазового перетворення, зернограничная, полікристалічна, надпластичність). Критичне зусилля зсуву. В’язко-пружні та в’язко-пластичні властивості матеріалів. Реологічні моделі пружнов'язкого тіла, моделі Кельвіна-Фойгта, Максвелла.

1.9. *Зміцнення матеріалів*. Механізми термічного, деформаційного та хіміко-термічного зміцнення. Ефект Баушингера. Особливості зміцнення пластмас. Перекристалізація, етапи розвитку структури під час пластичної деформації.

Температура активації перекристалізації. Кінетика перекристалізації, вплив температури та вторинних фаз.
1.10. *Теплофізичні властивості матеріалів*. Механізми передачі тепла. Закон Фур'є та коефіцієнт теплопровідності. Теплопровідність газів і рідин, метод Чепмена – Енскога. Теплопровідність твердих тіл. Термічна анізотропія. Теплоємність матеріалів. Закон Дюлонга-Пті та закон Джоуля – Коппа. Модель Ейнштейна. Модель Дебая. Теплове розширення. Параметр Грюнайзена.
1.11. *Електропровідність матеріалів*. Механізми електропровідності в металах, напівпровідниках, електролітах. Питомий опір матеріалу та питома електропровідність. Вольт-амперна характеристика матеріалів. Закон Відемана – Франца. Скін-ефект.
1.12. *Магнітні властивості матеріалів*. Класифікація магнетиків. Магнітна проникність. Діелектрична проникність та показник заломлення. Магнітострикція. Температура Кюрі. Електромагнітне екранування. Магнітні матеріали. Класифікація за магнітними властивостями. Діа-, пара- та феромагнетики.

РОЗДІЛ 2. Основи металознавства.
2.1. *Формування структури металів при кристалізації*. Механізм процесу кристалізації. Гомогенне та гетерогенне зародкоутворення. Розмір критичного зародка. Типи сегрегацій (дендритна, зональна, ліквацийна, фазова, по границях зерен). Анізотропія металів. Поліморфізм металів. Правило Оствальда. Стабілізація фаз елементами легування. Поліморфізм бінарних оксидів металів. Наноалотропія. Політипізм.
2.2. *Тверді розчини*. Класифікація твердих розчинів. Обмежена та необмежена розчинність. Інтерметалідні фази. Фазові переходи I і II роду. Правило фаз Гіббса.
2.3. *Дифузійні та бездифузійні фазові перетворення у двокомпонентних системах*. Евтектоїдні, перлітні, бейнітні, мартенситні перетворення. Морфологія структур. Закон Аврамі для дифузійних перетворень. Визначення частки фаз при бездифузійному (мартенситному) перетворенні. Температурно-часові діаграми ТТТ і ССТ. Регресійні рівняння розрахунку параметрів діаграм перетворень та фазового складу.
2.4. *Термічна обробка*. Класифікація видів термічної обробки, сфери застосування. Принципи відпалювання, нормалізації, загартування, відпуску. Фазові перетворення під час нагрівання й охолодження. Старіння і стабілізація структури. Природне та штучне старіння. Зонне зміцнення. Хіміко-термічна обробка. Цементація. Азотування. Ціанування, нітроцементація. Дифузійна металізація. Хромування.
2.5. *Механічна обробка металів і конструкцій*. Основні механічні властивості матеріалів. Зміни структури та властивостей металів в результаті наклепу. Ультразвукова ударна обробка матеріалів. Термомеханічна обробка.
2.6. *Корозія*. Основні види корозійних ушкоджень. Стрес-корозія. Ерозія та кавітаційне руйнування. Технології протикорозійного захисту.

2.7. *Поверхнева обробка*. Електроіскрове і лазерне зміцнення та відновлення поверхні. Газополум'яне, детонаційне та плазмове напилення, електродугова металізація. Електронно-променева та іонно-променева технології нанесення покриттів.

РОЗДІЛ 3. Теорія та технології з'єднання матеріалів.

3.1. *Фізичні аспекти та технології з'єднання матеріалів*. Цілі та задачі з'єднання матеріалів та елементів конструкцій. Основні фізичні процеси, які визначають можливість з'єднання матеріалів. Класифікація технологій з'єднання матеріалів. Класифікація з'єднань.

3.2. *Зварювання*. Класифікація видів зварювання. Класифікація зварних швів. Структура зварного з'єднання. Поняття фізичної та технологічної зварюваності. Технологічна міцність матеріалів і конструкцій.

3.3. *Дугове зварювання*. Дуга, як джерело зварювального нагрівання. Види електричного розряду в газах. Іонізація. Канальна модель дуги. Вольт-амперна характеристика дуги. Зварювання плавким і неплавким електродом. Захисна області зварювальної ванни. Гарячі та холодні тріщини. Тріщини повторного нагрівання. Гібридні плазмово-дугові технології зварювання.

3.4. *Променеві способи зварювання*. Електронний промінь та лазер як джерела нагрівання. Кінжальне (глибоке) проплавлення. Гібридні лазерно-дугові та технології зварювання.

3.5. *Зварювання в твердому стані*. Ковальське зварювання. Зварювання тертям, особливості сили тертя, як джерела зварювального нагрівання. Зварювання тертям з перемішуванням, особливості застосування та технології. Зварювання вибухом. Дифузійне зварювання. Ультразвукове зварювання.

3.6. *Спеціальні технології зварювання*. Індукційне зварювання. Термітне зварювання. Електрошлакове зварювання. Термітне зварювання.

3.7. *Кінетика температурного поля при зварюванні*. Характеристики температурних циклів при зварюванні. Описання джерел зварювального нагрівання. Теплова ефективність. Основні механізми дисипації тепла при зварюванні. Інструментальні методи вимірювання температури при зварюванні.

3.8. *Гідродинаміка зварювальної ванни*. Структура рідин, ближній та дальній порядок взаємодії. Ньютонівська та неньютонівська рідина. Закони збереження маси, імпульсу та енергії ньютонівської рідини. Рівняння Нав'є-Стокса. Сили поверхневого натягу. Нестабільність Плато-Релея. Ефект Марангоні-Гіббса. Основний закон гідростатики. Сили Лоренца. Особливості плавлення електроду. Парагазовий канал.

3.9. *Металургійні процеси та структурні перетворення в металах при зварюванні*. Перерозподіл розчиненої речовини під час кристалізації. Рівноважний коефіцієнт ліквації. Мікроскопічна та макроскопічна ліквація. Дендритна кристалізація. Хімічні реакції при зварюванні, вплив азоту, кисню, водню на властивості металу. Взаємодія металу зі шлаком.

3.10. *Особливості розвитку напружено-деформованого стану при зварюванні*. Масштаби описання матеріалів с точки зору напружено-

деформованого стану та пошкодження. Тензори напружень та деформацій, їх інваріанти, кульова та девіаторна частини. Класифікація залишкових напружень. Плаский напружений та плаский деформований стани. Механізм формування залишкових напружень при зварюванні. Релаксація залишкових напружень. Заходи щодо зниження залишкових напружень.

3.11. *Міцність, руйнування та надійність зварних з'єднань*. Види руйнування. Види та дослідження зламів. Статична міцність зварних конструкцій, особливості руйнування металу шва, зони термічного впливу. Втомна міцність, характеристики опірності втомному руйнуванню. Характерні місця зародження втомних тріщин. Методи проектування зварних конструкцій з врахуванням умов втомного руйнування. Дефекти зварних з'єднань. Руйнування в умовах складного впливу силового навантаження та агресивного середовища. Поняття надійності та довговічності.

3.12. *Фундаментальні основи та технології паяння*. Класифікація технологій паяння. Джерела нагрівання при паянні. Паяння твердим та м'яким припоєм. Поняття паюваності. Поверхневі явища, змочування, ефект Ребіндера. Фактори, що визначають якість паяних з'єднань.

3.13. *Адгезійне з'єднання матеріалів*. Природа адгезії. Електростатична, дифузійна, механічна та абсорбційна теорії адгезії. Адгезивне та когезивне руйнування з'єднань. Основні вимоги для забезпечення якості адгезійних з'єднань. Конструкційні та неконструкційні адегезиви.

3.14. *Механічне з'єднання матеріалів*. Види механічних з'єднань. Принципи проектування та основні механізми руйнування болтових і заклепкових з'єднань.

Розділ 4. Методи характеризації матеріалів і конструкцій

4.1. *Методи визначення твердості*. Твердість за Брінелем, Роквелом, Віккерсом, Шором, Кнупом. Нано-, мікротвердість, твердість за малих навантажень, макротвердість. Шкала Мооса.

4.2. *Випро́бування на розтяг*. Зразки для випробувань. Основні характеристики деформаційної кривої, границі пропорційності, плинності, пружності, міцності. Істинні та умовні значення механічних властивостей.

4.3. *Випробування на ударну в'язкість*. Класифікація випробувань на ударну в'язкість. Методи визначення ударної в'язкості (KCU, KCV, KCT). Робота зламу.

4.4. *Випробування на втомну міцність*. Зразки для випробувань. Випробування за підвищеної та пониженої температур і в умовах агресивних середовищ. Побудова S-N-діаграм. Швидкість зростання втомної тріщини.

4.5. *Рентгеноструктурний аналіз*. Явище дифракції рентгенівських променів на кристалах. Генерування рентгенівських променів і взаємодія з речовиною. Джерела випромінювання. Умова Брегга – Вульфа. Метод Лауе.

4.6. *Принципи та методи мас-спектрометрії*. Мас-спектр. Асоціативна іонізація. Асоціативна комбінація. Адитивність мас-спектрів. Види мас-спектрометрії. Хромато-мас-спектрометрія.

4.7. *Електронна мікроскопія*. Генерування електронів та їх взаємодія з речовиною. Підготовка зразків для електронної мікроскопії. Скануюча електронна мікроскопія. Дифракція зворотного розсіювання електронів.

Кікучі-лінії. Побудова прямих та зворотніх полюсних фігур. Трансмісійна електронна мікроскопія. Оже-мікроскопія. Метод мікрорентгеноспектрального аналізу. Побудови карт розподілу елементів.
4.8. *Оптична мікроскопія*. Види оптичних мікроскопів. Дифракція, роздільна здатність і контраст. Мікроскопія методом світлого поля, темного поля, фазове контрастування, поляризаційне контрастування. Інтерференційна та флюорисцента мікроскопія.
4.9. *Фізичні принципи магнітних методів неруйнівного контролю стану матеріалів і конструкцій*. Магнітна структуроскопія. Метод магнітної пам'яті. Коерцитивна сила. Магнітопорошкова дефектоскопія.
4.10. У*льтразвукова та акустико-емісійна діагностика матеріалів і конструкцій*. Типи пружних хвиль. Ультразвукова дефектоскопія. Особливості сигналів акустичної емісії при деформуванні та руйнуванні матеріалів.

РОЗДІЛ 5. Прогресивні матеріали та технології.
5.1. *Сталі*. Легуючі елементи в сталях. Вплив на критичні точки діаграми залізо-вуглець і властивості фериту та аустеніту. Класифікація легованих сталей за складом і призначенням. Маркування сталей. Вплив легуючих елементів на процеси перетворення при відпуску, на процеси спікання та зварюваність.
5.2. *Чавуни*. Сірий чавун з пластинчастим графітом. Класифікація, маркірування. Ковкий чавун. Структура та властивості ковкого чавуну. Високоміцний чавун. Сфероідизуючі елементи. Чавун з вермікулярним графітом.
5.3. *Титан та сплави на його основі*. Характерні особливості фізичних та механічних властивостей титану. Класифікація титанових сплавів. Основні легуючі елементи титанових сплавів. Застосування титанових сплавів.
5.4. *Алюміній та сплави на його основі*. Класифікація і властивості алюмінієвих сплавів. Зварюваність алюмінієвих сплавів. Характеристики алюмінієвих виробів та їх застосування.
5.5. *Магній та сплави на його основі*. Загальна характеристика та класифікація магнієвих сплавів. Основні системи легування. Особливості експлуатації конструкцій та компонентів із магнієвих сплавів. Біосумісність магнієвих сплавів.
5.6. *Нікель та сплави на його основі*. Класифікація нікелевих сплавів. Температурні властивості нікелевих сплавів. Магнітострикційні властивості нікелевих сплавів. Імунотоксичність нікелю. Нікелеві сплави з пам'ятю форми.
5.7. *Композиційні матеріали*. Класифікація за матрицею, армуючим компонентом, структурою. Високоміцні та високомолекулярні волокна (органічні, силікатні, металічні). Армовані та наповнені металополімерні матеріали та вироби з них. Склопластики, деревосклопластики, вуглепластики та боропластики. Волокнисті композиційні матеріали. Особливості деформування та руйнування композиційних матеріалів. Правило сумішей.

5.8. *Аморфні сплави, ситали, керамічні та інші неорганічні матеріали*. Аморфні сплави. Будова, властивості та види технічного скла і ситалів. Технічна кераміка, вогнетривкі та конструкційні керамічні матеріали. Скляні мастила та захисні покриття.
5.9. *Полімери та пластмаси*. Класифікація полімерів. Структура та методи отримання полімерів. Фазові та фізичні стани полімерів. Особливості механічних властивостей полімерів, обумовлені їх будовою. Вулканізація. Пластмаси на основі термопластичних полімерів. Пластмаси на основі термореактивних полімерів.
5.10. *Напівпровідникові матеріали*. Класифікація та застосування. Будова та властивості напівпровідникових матеріалів. Методи отримання надчистих напівпровідникових матеріалів. Легування напівпровідникових матеріалів.
5.11. *Нано- та вуглецеві матеріали*. Методи синтезу наноматеріалів. Класифікація наноматеріалів. Механічні, електронні, термічні, магнітні та інші властивості наноматеріалів. Застосування наноматеріалів. Типи вуглецевих матеріалів. Алмаз. Графен. Графіт. Карбін. Лонсдейліт. Наноалмаз. Фулерени. Фулеріт.
5.12. *Порошкові матеріали та порошкова металургія*. Типова технологічна схема виробництва методом порошкової металургії. Класифікація методів одержання порошків. Класифікація порошкових матеріалів. Властивості, вимоги до якості та особливості використання виробів з порошкових матеріалів.
5.13. *Адитивні технології*. Класифікація адитивних технологій. Області використання адитивних технологій. Основні способи та принципи 3D-друку. Матеріали для 3D друку. Технології швидкого прототипування.
5.14. *Зелені технології та економіка сталого розвитку в матеріалознавстві*. Переробка. Мінімізація відходів. LCA. EOL. Вуглецевий слід. Екологічний слід. Водний слід. Екологічний дизайн.

5. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. J.W. Christian. The Theory of Transformations in Metals and Alloys. 1st Edition. UK. Pergamon Press. 2002. 1200 p.
2. Anderson J.C., Leaver K.D., Leevers P., Rawlings R.D. Materials Science for Engineers. 5th edition. – Florida: CRC Press, 2003. 888 p.
3. Raabe D. Computational Materials Science. The Simulation of Materials Microstructures and Properties. New York: Wiley-VCH. 1998. 380 p.
4. Carter G.F., Paul D.E. Materials Science and Engineering. OH: ASM International, 1991. 364 p.
5. Ohring M. Engineering Materials Science. Waltham: Academic Press, 1995, 827 p.
6. Fischer T. Materials Science for Engineering Students. Waltham: Academic Press. 2008. 600 p.
7. Horath Larry. Fundamentals of Materials Science for Technologists: Properties, Testing, and Laboratory Exercises. 3rd Edition. USA: Waveland Press. 2019. 552 p.

8. D. K. Dwivedi. Fundamentals of Metal Joining. Processes, Mechanism and Performance. Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2022. 449 p.
9. Chawla K.K. Composite Materials: Science and Engineering. 3rd edition. — New York: Springer Science+Business Media. 2013. 542 p.
10. Carter B., Norton G. Ceramic Materials: Science and Engineering. New York: Springer, 2007. 716 p.
11. Ashby M. F. Engineering Materials 1: An Introduction to Properties, Applications, and Design. – 5th ed. – Oxford : Butterworth-Heinemann, 2019. – 552 p.
12. M.F. Ashby, D.R.H. Jones. Introduction to Materials Science for Engineers.. 8th ed. Boston: Pearson, 2015. – 696 p.
13. W.F. Hosford. Elementary Materials Science. Materials Park, OH: ASM International, 2016. – 188 p.
14. D.R. Askeland, W.J. Wright. The Science and Engineering of Materials. 7th ed. Boston: Cengage Learning, 2016. – 896 p.
15. R.E. Smallman, A. H. W. Ngan. Physical Metallurgy and Advanced Materials. 8th ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2019. – 672 p.
16. D. Hull, D.J. Bacon. Introduction to Dislocations. 5th ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2020. – 272 p.
17. M.A. Meyers, K.K. Chawla. Mechanical Behavior of Materials. 3rd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. – 882 p.
18. G.E. Dieter, D. Bacon. Mechanical Metallurgy. 4th ed. New York McGraw-Hill Education, 2022. – 768 p.
19. R.W. Balluffi, S.M. Allen, W.C. Carter. Kinetics of Materials. Hoboken, NJ: Wiley-Interscience, 2023. – 672 p.
20. R.W. Cahn, P. Haasen. Physical Metallurgy. 5th ed. Amsterdam: Elsevier, 2024. – 2960 p.
21. J.C. Anderson, K.D. Leaver, R.D. Rawlings. Materials Science for Engineers. 6th ed. London: CRC Press, 2019. – 680 p.
Ohring M. Engineering Materials Science. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, 2021. – 860 p.
22. W.F. Smith, J. Hashemi. Foundations of Materials Science and Engineering. 7th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2022. – 1104 p.
23. Технологія конструкційних матеріалів. С.В. Марченко, О.П. Гапонова, Т.П. Говорун, Н.А. Харченко. Суми: СумДУ. 2016. 146 с.
24. Худецький І.Ю., Ляпіна К.В., Антонова-Рафі Ю.В. Матеріалознавство та конструкційні матеріали. Практикум. Навчальний посібник. Київ: Національний технічний університет України Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського, 2018. 147 с.
25. Хільчевський В.В. та ін. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів. Навчальний посібник. Київ: Либідь. 2002. 327 с.