

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР
«ХАРКІВСЬКИЙ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Генеральний директор

« 30 » _____ 2022 р.



РОБОЧА ПРОГРАМА

навчальної дисципліни

Матеріалознавство модифікованої поверхні

Назва навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти

Доктор філософії

галузь знань

10 Природничі науки

спеціальність

104 -фізика та астрономія

освітня програма

освітньо-професійна програма «Фізика та астрономія»

спеціалізація

вид дисципліни

обов'язкова

Інститут фізики твердого тіла, матеріалознавства та технологій
ННЦ ХФТІ

2022 / 2023 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження
Науково-технічною радою ІНЦ ХФТІ

Від “29” 11 2022 року, протокол № 6

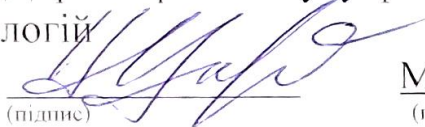
РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

д.ф-м.н., професор Г.Д. ТОЛСТОЛУЦЬКА

Програму схвалено на засіданні Науково-технічної ради Інституту
фізики твердого тіла, матеріалознавства та технологій

від “17” 10 20 22 року, протокол № 1

Директор Інституту фізики твердого тіла, матеріалознавства та
технологій

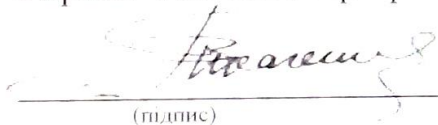

(підпис)

Микола АЗАРЕНКОВ
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньо-професійної програми
«Фізика та астрономія»

назва освітньої програми

Гарант освітньо-професійної програми «Фізика та астрономія»


(підпис)

Віктор ТКАЧЕНКО
(прізвище та ініціали)

Вступ

Дисципліна «Матеріалознавство модифікованої поверхні» є частиною професійної підготовки аспірантів за вибором ННЦ ХФТІ за напрямом 10 Природничі науки, за спеціальністю – 104 фізика і астрономія, яка викладається протягом другого року навчання.

ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Метою викладання навчальної дисципліни є отримання знань про закономірності і механізми процесів на поверхні твердого тіла при взаємодії з іонними пучками або плазовими потоками та методи і технології модифікації поверхні. Отримані знання створюють можливості ясно та ефективно описувати результати наукової роботи.

1.1 Основними завданнями вивчення дисципліни «Матеріалознавство модифікованої поверхні» є

Основними завданнями вивчення дисципліни є

- (1) засвоєння аспірантами базових знань щодо загальних уявлень про модифікацію поверхні шляхом нанесення покриттів і іонного бомбардування в вакуумі;
- (2) ознайомлення зі зміни стану поверхні при її модифікації в результаті впливу корпускулярних і електромагнітних випромінювань;
- (3) оволодіння методами неруйнівного аналізу поверхонь твердих тіл іонними пучками.

1.2.1. Формування інтегральних компетентностей

Здатність продукувати нові ідеї, розв'язувати комплексні проблеми науково-дослідницької та інноваційної діяльності у сфері фізики, застосовувати методологію науково-дослідницької та педагогічної діяльності, а також проводити власне наукове дослідження, результати якого мають наукову новизну, теоретичне та практичне значення і застосування.

1.2.2 Формування наступних загальних компетентностей

ЗК01. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).

ЗК02. Здатність працювати в міжнародному контексті.

ЗК03. Здатність розв'язувати комплексні наукові проблеми на основі системного наукового світогляду та загального культурного кругозору із дотриманням професійної етики та академічної доброчесності.

1.2.3. Формування наступних спеціальних (фахових) компетентностей:

СК01. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру в сфері матеріалознавства модифікованої поверхні, інтегрувати знання з різних галузей, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.

СК02. Здатність відстежувати тенденції розвитку матеріалознавства модифікованої поверхні, їх прикладних застосувань, критично переосмислювати наявні знання та методи фундаментальних та прикладних наукових досліджень.

СК03. Здатність представляти та обговорювати результати своєї науково-дослідницької роботи державною мовою, а також англійською мовою чи одною з офіційних мов Європейсько Союзу, в усній та у письмовій формі,

опрацьовувати наукову літературу з матеріалознавства модифікованої поверхні і ефективно використовувати нову інформацію з різних джерел.

СК04. Здатність організовувати та здійснювати науково-педагогічну діяльність у сфері матеріалознавства модифікованої поверхні.

СК05. Здатність ініціювати, розробляти та реалізовувати науково-дослідницькі, розробницькі та інноваційні проекти у сфері матеріалознавства модифікованої поверхні, планувати й організовувати роботу науково-дослідницьких, розробницьких та інноваційних колективів.

СК06. Здатність застосовувати сучасні методи, методики, технології, інструменти та обладнання для проведення прикладних та фундаментальних наукових досліджень у галузі матеріалознавства модифікованої поверхні.

СК16 Компетентність у сфері матеріалознавства модифікованої поверхні.

1.3. Кількість кредитів – 4.

1.4. Загальна кількість годин – 120.

1.5. Характеристика навчальної дисципліни:

Опис навчальної дисципліни «Матеріалознавство модифікованої поверхні»

Галузь знань, напрям підготовки, спеціальність, освітньо-кваліфікаційний рівень	
Галузь знань	10 – Природничі науки
напрямок підготовки	104 – фізика та астрономія
спеціальність	104 – фізика та астрономія
освітньо-кваліфікаційний рівень	Доктор філософії
Характеристика навчальної дисципліни	
Вид	Вибір ННЦ ХФТІ
Загальна кількість годин	120
Кількість кредитів ECTS	4
Кількість змістових модулів	2
Форма контролю	іспит
Показники навчальної дисципліни	
Рік підготовки	II

Лекційні заняття	32
Практичні заняття	16
Самостійна робота	70
Консультації	2

1.6. Заплановані результати навчання

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми здобувачі повинні:

РН01. Мати сучасні концептуальні та методологічні знання з матеріалознавства модифікованої поверхні та дотичних до них міждисциплінарних напрямів, а також необхідні навички, достатні для проведення фундаментальних і прикладних наукових досліджень з метою отримання нових знань та/або здійснення розробок та інновацій.

РН02. Аналізувати та оцінювати стан і перспективи розвитку матеріалознавства модифікованої поверхні, а також дотичних міждисциплінарних напрямів.

РН03. Вільно презентувати та обговорювати державною мовою, а також англійською мовою чи одною з офіційних мов Європейського Союзу, результати наукових досліджень, фундаментальні та прикладні проблеми матеріалознавства модифікованої поверхні, публікувати результати наукових досліджень у наукових виданнях, що індексуються у базах Scopus та WoS Core Collection.

РН04. Формулювати і перевіряти гіпотези; використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати теоретичних і експериментальних досліджень, математичного моделювання, комп'ютерного експерименту, а також наявні літературні дані.

РН05. Розробляти моделі процесів і систем у матеріалознавстві модифікованої поверхні та дотичних міждисциплінарних напрямках, використовувати їх у науково-дослідницькій діяльності для отримання нових знань та/або створення розробок та інноваційних продуктів.

РН06. Планувати і виконувати прикладні та/або фундаментальні дослідження з матеріалознавства модифікованої поверхні та дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасних методів, методик, технологій, інструментів та обладнання, з дотриманням норм академічної етики, критично аналізувати результати наукових досліджень у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми; готувати проєктні пропозиції щодо фінансування наукових досліджень та/або розробницьких і інноваційних проєктів.

РН07. Застосовувати сучасні інструменти і технології пошуку, оброблення та аналізу інформації, зокрема, статистичні методи аналізу даних великого обсягу та/або складної структури, спеціалізовані бази даних та інформаційні системи.

РН08. Розробляти та реалізовувати наукові та/або інноваційні інженерні проєкти, які дають можливість переосмислити наявне та створити нове цілісне знання та/або професійну практику і розв'язувати значущі

наукові та технологічні проблеми матеріалознавства модифікованої поверхні з врахуванням соціальних, економічних, екологічних та правових аспектів; управляти науковими проектами.

РН09. Глибоко розуміти загальні принципи та методи природничих наук, а також методологію наукових досліджень, місце фізики в системі наукових знань як методологічної основи природничих, інженерних наук та технологій; застосувати їх у власних дослідженнях у сфері матеріалознавства модифікованої поверхні та у викладацькій діяльності.

РН10. Організовувати освітній процес і проводити педагогічну діяльність у сфері матеріалознавства модифікованої поверхні, забезпечувати відповідне наукове, навчально- методичне та нормативне забезпечення.

РН18 Знати сучасний стан фізики твердого тіла та матеріалознавства, експериментальних методів вивчення пружних, пластичних, теплофізичних та електрофізичних властивостей конструкційних матеріалів, методів аналізу дефектної структури матеріалів, залежності фізичних властивостей матеріалів від їх структури.

Уміти застосовувати отримані знання на практиці, орієнтуватися в порівняльному аналізі застосування матеріалів у різних умовах експлуатації.

Після вивчення курсу здобувач повинен знати:

- процеси на поверхні: хімічні реакції; зміна топографії поверхні; сорбція атомів і іонів; дефектоутворення; імплантація; десорбція; розпорошення;
- ефекти глибинного зміцнення та аномально глибокого іонного проникнення, підвищення корозійної стійкості, зносостійкості і терміну служби виробів;
- відображення бомбардуючих іонів від поверхні; розпилення; механізми розпилення;
- елементний склад при великих дозах опромінення; іонний синтез; іонна металургія; іонна епітаксія;
- термічне випаровування і конденсація, катодне розпилення і конденсація, іонне осадження покриттів, іонна імплантація. Переваги і недоліки методів;
- процеси, що протікають в поверхневих шарах матеріалів на стадії опромінення і високошвидкісного охолодження при обробці поверхні низькоенергетичними потужнострумовими електронними пучками і потужними імпульсними іонними пучками; лазерні технології для отримання мікро- і наноструктур на поверхні металів.
- електроерозійний (електроіскровий) спосіб обробки деталей; електроіскрова обробка профільованим і непрофільованим електродами; електроімпульсна обробка; високочастотна електроіскрова обробка; електрохімічна обробка; електрохімічне полірування, ультразвукова обробка;
- вторинно-іонна мас-спектрометрія; оже-електронна спектроскопія; електронний мікрозонд; зворотне Резерфордівське розсіювання.

В результаті вивчення дисципліни аспірант повинен вміти:

- застосовувати здобуті знання для одержання, аналізу та пояснення експериментальних даних, здобутих за різних умов модифікації поверхні шляхом нанесення покриттів і іонного бомбардування;
- вибирати ту чи іншу теоретичну модель для опису фізичних процесів, які відбуваються на модифікованій поверхні;
- застосовувати потрібні методи неруйнівного аналізу поверхонь твердих тіл іонними пучками;
- самостійно опановувати та використовувати літературу з фізики модифікації поверхні; -вміти написати статтю до журналу та доповідь на конференцію за результатами досліджень.

Контроль знань аспіранта здійснюється за модульно-рейтинговою системою. Змістовий модуль 1 включає теми 1–4, змістовий модуль 2 – теми 5–9.

2. ЗМІСТ ТА СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Зміст навчальної дисципліни

Модуль 1. Загальні уявлення про модифікацію поверхні шляхом нанесення покриттів і іонного бомбардування.

ТЕМА 1 (2 години). Приклади зміни стану поверхні при її модифікації в результаті впливу корпускулярних і електромагнітних випромінювань в ядерних і термоядерних реакторах, космічному просторі, при промисловому виробництві. Визначення модифікації поверхні. Уявлення про процеси на поверхні: хімічні реакції; зміна топографії поверхні; сорбція атомів і іонів; дефектоутворення; імплантація; десорбція; розпорошення.

ТЕМА 2 (2 години). Класифікація методів по області зміни основних параметрів, що характеризують процес взаємодії енергії та щільності струму прискорених іонів. Діаграма взаємодії з поверхнею твердих речовин потоків корпускулярних і електромагнітних випромінювань. Ефекти глибинного зміцнення та аномально глибокого іонного проникнення, підвищення корозійної стійкості, зносостійкості і терміну служби виробів.

ТЕМА 3 (6 годин). Відображення бомбардуючих іонів від поверхні; розпилення; механізми розпилення; визначення коефіцієнтів розпилення, залежність коефіцієнта розпилення від кута падіння, енергії, маси і атомного номера частинок. Непружні взаємодії з електронною підсистемою речовини; явища, які викликають непружні взаємодії з електронною підсистемою: збільшення провідності у напівпровідників і діелектриків (радіаційна провідність); емісія електронів; кінетична іонно-електронна емісія; оже-процеси.

ТЕМА 4 (6 годин). Зміна елементного складу при великих дозах опромінення; іонний синтез; іонна металургія; іонна епітаксія. Оптичні, магнітні, хімічні, механічні властивості; фазові переходи; зміна електричних властивостей; обмеження в застосуванні методів іонної імплантації. Іонна очистка; іонне перемішування; іонне зміцнення; іонне ущільнення; іонне травлення. Створення радіаційно-індукованих фаз; іонно-стимульована сегрегація; зміна електронного стану поверхні.

Модуль 2. Методи модифікації поверхні.

ТЕМА 5 (4 години). Термічне випаровування і конденсація, катодне розпилення і конденсація, іонне осадження покриттів, іонна імплантація. Переваги і недоліки методів.

ТЕМА 6 (2 години). Електронно-променеве зварювання; термічна електронно-променева обробка; електронно-променеве випаровування; електронно-променева плавка.

ТЕМА 7 (4 години). Послідовність процесів оплавлення і затвердіння поверхневого шару макроскопічної товщини; Процеси, що протікають в поверхневих шарах матеріалів на стадії опромінення і високошвидкісного охолодження при обробці поверхні низькоенергетичними потужнострумовими електронними пучками і потужними імпульсними іонними пучками (ПП); лазерні технології для отримання мікро- і наноструктур на поверхні металів. Видалення з поверхні легколетких адсорбованих домішок на основі вуглеводнів.

ТЕМА 8 (3 години). Електроерозійний (електроіскровий) спосіб обробки деталей; електроіскрова обробка профільованим і непрофільованим електродами; електроімпульсна обробка; високочастотна електроіскрова обробка; електрохімічна обробка; електрохімічне полірування, ультразвукова обробка.

ТЕМА 9 (3 години). Вторинно-іонна мас-спектрометрія (зондування прискореними іонами в поєднанні з мас-спектрометричним аналізом продуктів розпилення); Оже-електронна спектроскопія (зондування потоком прискорених електронів в поєднанні з реєстрацією емітованих оже-електронів); електронний мікрозонд (заснований на реєстрації характеристичного рентгенівського випромінювання, що генерується твердим тілом під дією потоку електронів); зворотне Резерфордівське розсіювання (визначення енергетичних втрат при розсіюванні легких прискорених іонів).

Структура навчальної дисципліни

Назва лекції			
	Лекції	Практичні/семінарські заняття	Самостійна робота
Змістовний модуль 1. Загальні уявлення про модифікацію поверхні шляхом нанесення покриттів і іонного бомбардування.			
Тема 1. Процеси на поверхні твердого тіла при взаємодії з іонними пучками або плазмовими потоками.	2	2	8
Тема 2. Класифікація методів вакуумної технології.	2	2	9
Тема 3. Основні процеси, що відбуваються при взаємодії прискорених іонів з речовиною.	6	2	9
Тема 4. Модифікація властивостей твердих тіл іонним бомбардуванням.	6	2	9
Разом за змістовний модуль 1	16	8	35
Змістовний модуль 2. Методи модифікації поверхні.			
Тема 5. Іонно-вакуумні технології нанесення покриттів.	4	2	7
Тема 6. Основи електронно-променевої обробки матеріалів.	2	2	7
Тема 7. Модифікація поверхні при впливі на поверхню інтенсивних потоків енергії.	4	0	7
Тема 8. Електрофізичні методи обробки матеріалів.	3	0	7
Тема 9. Неруйнівний аналіз поверхонь твердих тіл іонними	3	4	7

пучками.			
Разом за змістовний модуль 2	16	8	35
Всього	32	16	70

Загальний обсяг: 120 год., зокрема: лекцій – 32 год.; практичних/семінарів – 16 год., самостійної роботи – 70 год., консультацій – 2 год.

4. Тематичний план практичних та семінарських занять

№ з/п	Тема	Години
1	Визначення методом Монте-Карло (Програма SRIM): – коефіцієнтів розпилення; – енергії атомів віддачі; енергії іонізації;	2
2	Ефекти зміцнення та способи їх вимірювання;	2
3	Визначення коефіцієнтів іонно-електронної емісії	2
4	Аналіз літератури щодо процесів під час іонної очистки, іонного перемішування, іонного ущільнення та іонного травлення. Обмеження в застосуванні методів іонної імплантації.	2
5	Метод магнетронного розпилення. Метод вакуумно-дугового осадження. Схеми та суть.	2
6	Визначення гальмівної здатності речовини і пробігу електронів та енергія збудження і кутового розсіювання	2
7	Метод ядерних реакцій; Сканируюча тунельна і атомно-силова мікроскопія; Автоіонная мікроскопія.	4
	Всього	16

5. Самостійна робота

№ з/п	Тема	Години
1	Самостійне опрацювання навчально-методичних посібників та вивчення матеріалу за темами 1 розділу.	35

2	Самостійне опрацювання навчально-методичних посібників та вивчення матеріалу за темами 2 розділу.	35
	Всього	70

Запитання для самоперевірки

1. Елементарні процеси під час взаємодії плазми з поверхнею твердого тіла.
2. Визначення процесу модифікації поверхні. Технології модифікації поверхні. Яка потужність потоку частинок може бути знята примусовим охолодженням.
3. Фізичні ефекти, що спостерігаються в матеріалах, залежно від енергії падаючих іонів.
4. Коли доцільно на поверхні отримати метал, що відрізняється від металу деталі.
5. Які властивості можна змінити під час модифікації поверхні.
6. Які чинники є визначальними під час модифікації поверхні.
7. Класифікація методів вакуумної технології за областю зміни енергії E_i і густини струму прискорених іонів.
8. Як поділяють ефекти розпилення. Порогова енергія розпилення.
9. Типи процесів розпилення.
10. Визначення механізму розпилення внаслідок теплових піків. Чи завжди відбувається фізичне та хімічне розпилення.
11. Визначення механізму розпилення в результаті лінійних каскадів.
12. Визначити порогову енергію розпилення титану іонами азоту, якщо енергія сублімації титану дорівнює 4,9 еВ.
13. Результатом яких процесів є хімічне розпилення. Від яких параметрів залежить коефіцієнт хімічного розпилення.
14. Чотири методи нанесення захисних покриттів і обробки у вакуумі.
15. Які процеси впливають на швидкість нанесення матеріалу та стехіометрію одержуваного покриття.
16. Схема та принцип роботи методу термічного випаровування та конденсації.
17. Методи нагрівання при вакуумному випаровуванні. Закони Ламберта-Кнудсена.
18. Схема та принцип роботи методу катодного розпилення.
19. Схема і принцип роботи методу іонного осадження.
20. Схема та принцип роботи методу іонної імплантації.
21. Чим визначається метастабільність властивостей вакуумно-дугових покриттів.
22. Різновиди методу катодного розпилення.
23. У якому методі можна підтримувати розряд при малих тисках робочого газу. Принцип його дії.

24. Який ефект використовується під час обробки поверхні імпульсними концентрованими потоками енергій.
25. Процес кінджального проплавлення.
26. Способи електронно-променевих переплавів.
27. Лазерне наплавлення, принцип дії та переваги.
28. Які процеси відбуваються під час радіаційно-пучкового модифікування металевих виробів потужними іонними пучками.
29. За яких процесів відбувається утворення наномасштабних поверхневих структур.
30. Типи росту тонких плівок під час термічного випаровування.
31. Відмінність іонної імплантації від традиційних способів введення домішки.
32. Іонний синтез.
33. Механізми формування структури матеріалу при опроміненні МПП.
34. Модель Арчарда.
35. Електронно-променеве плавлення. Електронно-променеве випаровування.
36. За якої обробки утворюється аморфна структура, механізм її утворення.
37. Лазерна модифікація поверхні та її практичне застосування.
38. У якому методі можна підтримувати розряд за малого тиску робочого газу. Опишіть принцип його дії.
39. Як створюються концентровані потоки енергій і для чого вони використовуються.
40. Види радіаційних технологій.
41. Принципова схема електроіскрової обробки.
42. Який ефект використовується під час обробки поверхні імпульсними концентрованими потоками енергій.

Запитання до іспиту

1. Технології модифікації поверхні. Фізичні ефекти, що спостерігаються в матеріалах, залежно від енергії падаючих іонів. Чинники, які є визначальними під час модифікації поверхні. Коли доцільно на поверхні отримати метал, що відрізняється від металу деталі.
2. Типи процесів розпилення. Порогова енергія розпилення. Механізм розпилення внаслідок теплових піків та лінійних каскадів.
3. Процеси, які обумовлюють хімічне розпилення. Параметри, від яких залежить коефіцієнт хімічного розпилення.
4. Схема та принцип роботи методу термічного випаровування та конденсації. Типи росту тонких плівок під час термічного випаровування. Методи нагрівання при вакуумному випаровуванні. Закони Ламберта-Кнудсена.

5. Схема та принцип роботи методу катодного розпилення. Різновиди методу катодного розпилення.
6. Схема та принцип роботи методу іонної імплантації. Відмінність іонної імплантації від традиційних способів введення домішки. Іонний синтез.
7. Механізми формування структури матеріалу при опроміненні МІП.
8. Як створюються концентровані потоки енергій і для чого вони використовуються. За якої обробки утворюється аморфна структура, механізм її утворення.
9. Який ефект використовується під час обробки поверхні імпульсними концентрованими потоками енергій.
10. Електронно-променеве плавлення. Електронно-променеве випаровування. Принципова схема електроіскрової обробки.
11. Лазерна модифікація поверхні та її практичне застосування.
12. Види радіаційних технологій.

6. Методи контролю

Складання колоквиумів за темами практичних/семінарських занять, письмовий екзамен.

7. Схема нарахування балів

Матеріал курсу «Матеріалознавство модифікованої поверхні» згідно навчальної програми містить 9 тем. Теми розподілені по модулях відповідно: І модуль – 4 теми (від 1 до 4), II модуль – 5 тем (від 5 до 9). Оцінка роботи здобувачів проводиться за модульно-рейтинговою системою і включає такі види роботи над курсом: практичні роботи, засвоєння теоретичного матеріалу та домашні завдання.

Теми за курсом			Разом
Модуль 1	Модуль 2	Екзамен	100
T1-T4	T5-T9		
30	30		

T1, T2 ... - теми розділів.

Оцінка за модуль складається з оцінки за практикум, поточний контроль, виконання домашніх письмових завдань. Здобувачі повинні виконати та оформити всі практичні роботи.

Здобувачі пишуть відповідно до кожного модуля письмові контрольні роботи, кожна з яких оцінюється максимум 10-ма балами. Решта 20 балів – це середня оцінка поточного контролю за відповідними темами, колоквиуми (усні), самостійні письмові роботи і т. ін.

Для допуску до підсумкового семестрового контролю здобувач в сумі за практикум, поточний контроль, виконання домашніх письмових завдань має набрати не менше 30-ти балів з 60-ти можливих, тобто не менше 50% від максимально можливого.

На екзамені здобувач може одержати від 20 до 40 балів. Між 0 та 20 балами оцінка не виставляється, екзамен вважається не зданим. Бали, одержані на екзамені від 20 до 40 додаються до балів, одержаних у семестрі (30-60 балів). За цією сумою згідно таблиці шкали оцінювання виставляється підсумкова оцінка до залікової книжки.

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка
	за чотирирівневою шкалою оцінювання
90-100	відмінно
70-89	добре
50-69	задовільно
1-49	незадовільно

Критерії оцінювання

питань екзаменаційного білету (контрольної роботи)

Екзаменаційний білет (контрольна робота) містить кілька завдань (теоретичні питання або задачі). Кожне завдання має свій ваговий бал (вказується у дужках біля питання) та оцінюється окремо. Сумарно за всі відповіді на екзаменаційні питання можна отримати максимально 40 балів. Сумарний бал за контрольну роботу вказується в тексті відповідної роботи.

	Характеристика відповіді на кожне з питань екзаменаційного білету (контрольної роботи)	% від max балу за відповідь на питання
	Повна та вірна відповідь на питання або у повному обсязі правильно вирішена практична задача білету	100 %
	Повна відповідь з незначними помилками (або незначні помилки у розрахунках практичних завдань за наявності вірної розрахункової формули);	80-95 %
	Неповна, але вірна відповідь (або значні помилки у розрахунках практичних завдань за наявності вірної розрахункової формули для розв'язання практичних завдань);	50-80 %
.	Відповідь повна, але містить грубі помилки (або вирішення практичних завдань білету містить грубі помилки, розрахункові формули для розв'язання практичних завдань містять помилки)	30-50 %

	Неповна відповідь з суттєвими помилками	5-30 %
	Невірна відповідь	0-5 %
	Відсутня відповідь на теоретичне питання (або відсутнє вирішення практичних завдань білету)	0 %

9. Рекомендована література

Основна література

1. В.М. Воеводін, Г.Д. Толстолуцька. Сучасний стан радіаційного матеріалознавства для забезпечення сталої ядерної енергетики України / Наука про матеріали: досягнення та перспективи. Академперіодика, Київ, 2018, стор. 35-62.
2. Болеста І. Фізика твердого тіла / Л.: Вид-во відділу ЛНУ ім. Франка, 2003. – 479 с.
3. Функціональні матеріали і покриття: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закладів / [М.О. Азаренков та ін.]: Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна. – Х.: ХНУ, 2013. – 206 с.
4. О.М. Дубовий, Ю.О. Казимиренко, Н.Ю. Лебедева, С.М. Самохін. Інженерне матеріалознавство: підруч. для студ. вищ. навч. закл./Миколаїв: НУК, 2009. – 444с.
5. П. О. Киричок, Т. А. Роїк, А. С. Морозов. Основи металознавства і порошкової металургії: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл./ – К. НТУУ «КПІ», 2012. 128с.
6. О.В. Сушко, С.В. Кюрчев. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів / Навч. посіб. - Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2010 -232с.
7. В.М. Клименко, О.П Шиліна, А.Ю. Осадчук. Технологія конструкційних матеріалів. / Частина перша. Конструкційні матеріали: властивості, класифікація, виробництво. Навчальний посібник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005.- 97 с. ISBN 966-641-156-3
8. Технологія конструкційних матеріалів: Підручник / М.А. Сологуб, І.О. Рожнецький, О.І. Некоз та ін. – К.: Вища школа, 2002. – 374 с.
9. В.І. Савуляк, В.Й. Шенфельд. Наплавлення високовуглецевих зносостійких покриттів. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 124 с.
10. В.І. Савуляк. Синтез зносостійких композиційних матеріалів та поверхневих шарів з екзотермічних компонентів. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2002. – 161 с.
11. Збірник наукових праць «Перспективні технології та прилади» // 2017 р. Луцьк: Луцький НТУ, 2017. Випуск 11(2).

Допоміжна література

1. Was Gary S. Fundamentals of Radiation Materials Science. Springer 2007. <https://www.springer.com/gp/book/9783540494720>.
2. Sealy M.P. et al. Hybrid Processes in Additive Manufacturing. J. Manuf. Sci. Eng. 2018. 140 (6): 060801. <https://doi.org/10.1115/1.4038644>

3. Prokopenko G.I., Mordyuk B.M., Vasyliiev M.O., Voloshko S.M. Fizychni Osnovy Ul'trazvukovogo Udarnogo Zmitsnennya Metalevykh Poverkhon' (Physical Principles for Ultrasonic Impact Hardening of Metallic Surfaces). Kyiv: Naukova Dumka, 2017 (in Ukrainian).

4. В. І. Савуляк, В. Й. Шенфельд, М. С. Дмитрієв. Модифікування робочих поверхонь сталевих деталей з формуванням високовуглецевих структур // Вісник машинобудування та транспорту №1(9), 2019. <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2019-9-1-115-122>

Розробник програми д.ф.-м. наук,
професор



Галина ТОЛСТОЛУЦЬКА