

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАННЯ ім. Є.О.ПАТОНА НАЦІОНАЛЬНОЇ
АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ
Відділ аспірантури при ІЕЗ ім. Є.О.Патона НАН України

ЗАТВЕРДЖУЮ
Заст. директора
ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України
академік НАНУ




(підпис) І.В. Кривцун
(ініціали, прізвище)

«06» липень 2020 р.

**«Методи дослідження фазового складу, структури та
фізико-механічних властивостей матеріалів»**

(назва навчальної дисципліни)

4/1
(шифр за ОП)

**РОБОЧА ПРОГРАМА
навчальної дисципліни**

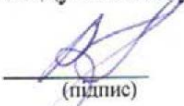
рівень вищої освіти – доктор філософії з матеріалознавства
форма навчання – денна
спеціальність – 132 – Матеріалознавство
галузь знань – 13 – механічна інженерія
освітня програма – Матеріалознавство

Затверджено на засіданні випускового
відділу за спеціальністю 132
«Матеріалознавство»

Інститут електрозварювання
ім. Є.О. Патона НАНУ

Протокол від 03.07.2020 р. № 1

Завідувач випускового відділу


(підпис) А.І. Устінов
(ініціали, прізвище)

«06» липень 2020 р.

Київ – 2020

Робоча програма кредитного модуля

Методи дослідження фазового складу, структури та фізико-механічних властивостей матеріалів

складена відповідно до програми навчальної дисципліни:

«Методи дослідження фазового складу, структури та фізико-механічних властивостей матеріалів», 4/І

Розробники робочої програми:

В.о. зав. відділу, кандидат техн. наук Григоренко Світлана Георгіївна
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

Ст. наук. співр., канд. техн. наук Савицький Віктор Володимирович
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

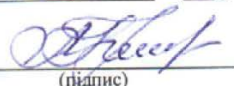
Завідувач відділу, доктор технічних наук Торон Василь Михайлович
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

Програму затверджено на засіданні відділу фізико-хімічних досліджень матеріалів
(повна назва відділу)

Протокол від «03» липня 2020 року № 1

В.о. завідувача відділу


(підпис)

С.Г. Григоренко
(ініціали, прізвище)

«06» липня 2020 р.

1. Опис кредитного модуля

Рівень ВО, спеціальність, освітня програма, форма навчання	Загальні показники	Характеристика кредитного модуля
Рівень ВО Третій (доктор філософії)	Назва дисципліни <u>«Сучасні методи визначення характеристик структури та властивостей матеріалів»</u>	Лекції <u>46</u> год.
Спеціальність 132 – Матеріалознавство (шифр і назва)	Цикл професійної підготовки	Практичні (семінарські) <u>42</u> год.
Освітня програма ОНП 4/І, «Методи дослідження фазового складу, структури та фізико-механічних властивостей матеріалів» » (ОПП, ОНП, назва)	Статус кредитного модуля обов'язковий (обов'язковий, вибірковий)	Лабораторні роботи <u>0</u> год.
		Самостійна робота <u>122</u> год., у тому числі на виконання індивідуального завдання <u>0</u> год.
	Семестр <u>2</u>	Індивідуальне завдання (вид)
Форма навчання денна (денна, заочна)	Кількість кредитів (годин) <u>7/210</u>	Вид та форма семестрового контролю (екзамен / залік; усний / письмовий / тестування тощо) екзамен

Дисципліна «Методи дослідження фазового складу, структури та фізико-механічних властивостей матеріалів» належить до циклу дисциплін професійної та практичної підготовки і пов'язана з дисциплінами:

- «Властивості матеріалів в нерівноважному стані та методи їх отримання» (3/І),
- «Твердофазні процеси формування нероз'ємних з'єднань матеріалів» (1/ІІ),
- «Структура з'єднань матеріалів отриманих плавленням» (2/ІІ),
- «Конструкційні сталі та їх здатність до зварювання» (3/ІІ),
- «Конструкційні сплави на основі нікелю, титану та алюмінію і їх здатність до зварювання» (4/ІІ),
- «Основи конструкційної міцності» (5/ІІ),
- «Дослідження процесу руйнування матеріалів методом акустичної емісії» (6/ІІ),
- «Теорія і експериментальні методи дослідження розповсюдження хвиль акустичної емісії в матеріалах» (7/ІІ),
- «Прогнозування руйнування конструкцій методом акустичної емісії» (8/ІІ).

2. Мета та завдання кредитного модуля

2.1. Метою навчальної дисципліни є формування у аспірантів здатностей:

- Здатність проводити критичний аналіз, оцінку і синтез нових та складних ідей (код ЗК 2).

- Здатність переосмислювати наявне та створювати нове цілісне знання та/або професійну практику і розв'язувати значущі соціальні, наукові, культурні, етичні та інші проблеми (код ЗК 6).
- Здатність досліджувати проблеми із використанням системного аналізу та інших методів дослідження (код ЗК 9).
- Критичне осмислення наукових фактів, гіпотез, теорій, у професійній діяльності в сфері матеріалознавства (код ЗК 11).
- Здатність узагальнювати результати сучасних досліджень структури та властивостей матеріалів для вирішення наукових і практичних проблем, на основі фундаментальних та спеціальних знань синтезувати та створювати нові матеріали заданого функціонального призначення (код ФК 4).
- Здатність оцінювати властивості матеріалів на основі існуючих та спеціально розроблених моделей та методів досліджень (код ФК 5).
- Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру в сфері механічної інженерії, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень(код ФК 6).
- Здатність на основі фундаментальних та спеціальних знань проектувати та створювати нові матеріали заданого функціонального призначення(код ФК 9).
- Здатність використовувати новітні методи досліджень металів і сплавів в науково-дослідницькій діяльності (код ФК 11).

2.2. Основні завдання навчальної дисципліни.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми аспіранти після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі результати навчання.

Знання:

- Методологію пошуку, оброблення, аналізу та синтезу інформації в спеціальному та міждисциплінарному контексті(код ЗН 2).
- сучасних методів теоретичного та експериментального дослідження структури та властивостей матеріалів (код ЗН 6);
- закономірностей керування складом, структурою та властивостями матеріалів різної природи та функціонального призначення (код ЗН 7);
- фундаментальних принципів фізичного, математичного, фізико-хімічного та імітаційного моделювання (код ЗН 8);
- Сучасного стану матеріалознавства та критеріїв підбору матеріалу, включаючи нові класи наноматеріалів, кластерних матеріалів, композиційних, багат шарових та інших (код ЗН 9);
- Основних положень про механічні і фізичні характеристики матеріалів, методів визначення характеристик матеріалів, елементів конструкцій та покриттів(код ЗН 13);

Уміння:

- оцінювати вплив нерівноважних умов отримання матеріалів на характеристики їх роботоздатності, та застосовувати сучасні методи їх підвищення (код УМ 14);
- практично застосувати отримані теоретичні знання при виборі матеріалів залежно від реальних умов експлуатації та функціонального призначення (код УМ 15);
- Придатності до зварювання низьковуглецевих конструкційних сталей підвищеної та високої міцності, особливості процесу зварювання в реальних умовах монтажу, придатності до зварювання легованих і високолегованих жаростійких та жароміцних сталей, особливості зварювання високовуглецевих сталей, зварювальних матеріалів для отримання нероз'ємних з'єднань з наперед заданими властивостями (код УМ 16);

- практично використовувати сучасні апаратні засоби для визначення структурних характеристик матеріалів їх механічних та фізичних властивостей, робити прогноз на основі визначеного комплексу їх властивостей щодо ресурсу експлуатаційних можливостей використання матеріалі (код УМ 17).

3. Структура кредитного модуля

Назви розділів і тем	Кількість годин				
	Всього	у тому числі			
		Лекції	Практичні (семінарські)	Лабораторні	СРА
1	2	3	4	5	6
<i>Розділ 1. Особливості структуроутворення сплавів і зварних з'єднань при термічному та механічному впливі.</i>					
<i>Тема 1.1. Металографічні методи дослідження структури металів та сплавів.</i>	10	2	2	-	6
<i>Тема 1.2. Діаграма стану системи залізо-вуглець.</i>	10	2	2	-	6
<i>Тема 1.3. Фазові перетворення в сплавах заліза. Теорія та технологія термічної обробки металів.</i>	5	2	-	-	3
<i>Тема 1.4. Структура зварного з'єднання.</i>	8	1	2	-	5
<i>Тема 1.5. Леговані сталі та сплави.</i>	7	1	2	-	4
<i>Тема 1.6. Кольорові метали та їх сплави.</i>	10	2	2	-	6
Разом за розділом 1	50	10	10	-	30
<i>Розділ 2. Напруження та деформація в зварних з'єднаннях</i>					
<i>Тема 2.1. Класифікація зварних з'єднань</i>	4	2	-	-	2
<i>Тема 2.2. Основні види руйнувань. Крихке та в'язке руйнування.</i>	4	2	-	-	2
<i>Тема 2.3. Феноменологічні уявлення про напружений стан суцільного середовища.</i>	4	2	-	-	2
<i>Тема 2.4. Умови появи непружних деформацій миттєвої пластичності і повзучості, температурні деформації.</i>	4	2	-	-	2
<i>Тема 2.5. Механізм виникнення зварювальних напружень і деформацій.</i>	14	3	4	-	7
<i>Тема 2.6. Основні особливості розподілу залишкових зварювальних напружень в конструкціях.</i>	12	4	2	-	6

Тема 2.7. Концентрація напружень і деформацій.	2	1	-	-	1
Тема 2.8. Чисельні методи визначення зварювальних напружень і деформацій.	20	2	8	-	10
Тема 2.9. Малоциклова та багатоциклова втома.	6	2	-		4
Тема 2.10. Експериментальні методи вимірювання переміщень, деформацій та напружень	10	2	2		6
Разом за розділом 2	66	20	16	-	30
Розділ 3. Механічні властивості матеріалів та їх експериментальне визначення.					
Тема 3.1. Методи визначення властивостей матеріалів при статичному навантаженні	32	8	8	-	16
Тема 3.2. Особливості крихкого та в'язкого руйнування матеріалів	16	4	4	-	8
Тема 3.3. Критерії крихкого руйнування	16	4	4	-	8
Разом за розділом 3	64	16	16	-	32
Екзамен					30
Всього годин	210	46	42	-	122

4. Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, завдання на СР аспіранта з посиланням на літературу)
1	<p>Металографічні методи дослідження структури металів та сплавів. Макроскопічні методи дослідження. Виготовлення макро- та мікрошліфів, способи травлення. Світлова металографія. Електронна мікроскопія. Якість та властивості матеріалів. Методи вимірювання твердості. СР: Дефекти макроструктури. Аналіз неметалевих включень в сталі. Література, основна: [2,6] Література допоміжна: [5,6]</p>
2	<p>Діаграма стану системи залізо-вуглець. Компоненти та фази залізобуглецевих сплавів. Процеси при структуроутворенні залізобуглецевих сплавів. Критичні точки діаграми. Правило фаз. СР: Правило фаз. Література, основна: [1-4] Література допоміжна: [7]</p>
3	<p>Фазові перетворення в сплавах заліза. Теорія та технологія термічної обробки металів. Структура зварного з'єднання. Фазові перетворення при нагріванні сталі. Зростання аустенітного зерна. Діаграма ізотермічного розпаду аустеніту. Дифузійне перлітне перетворення. Бездифузійне мартенситне перетворення. Проміжне бейнітне перетворення. Основні види термічної обробки. Хіміко-термічна обробка. Термомеханічна обробка. Формування структури зварного з'єднання в залежності від методу зварювання. СР: Термічна обробка зварних з'єднань. Література, основна: [1,5]</p>

	<i>Література допоміжна: [2,3,6,7]</i>
4	<p>Леговані сталі та сплави. Легуючі елементи та домішки в сталях. Класифікація легуючих елементів. Вплив легуючих елементів на температуру поліморфних перетворень. Вплив легуючих елементів на властивості фериту та аустеніту. Неметалеві включення в сталях. <i>СР: Класифікація та маркування сталей.</i> <i>Література, основна: [1-3]</i> <i>Література допоміжна: [1,5]</i></p>
5	<p>Кольорові метали та їх сплави. Титан і сплави на його основі. Фізико-хімічні властивості титану. Вплив легуючих елементів на діаграму стану титану. Промислові титанові сплави. Алюміній та сплави на його основі. <i>СР: Термічна обробка зварних з'єднань титанових та алюмінієвих сплавів.</i> <i>Література, основна: [1-4]</i> <i>Література допоміжна: [1,3,4]</i></p>
6.	<p>Класифікація зварних з'єднань Класифікація зварних з'єднань по геометричними ознаками, застосовуваним швах, способам зварювання, тощо. Основні поняття. Види зварних швів: стикові, кутові, точкові. Основні види зварювальних технологій, які використовуються для отримання з'єднань різного типу. <i>СР: Види зварних з'єднань, особливості стикових, кутових, таврових з'єднань.</i> <i>Література основна: [8, 11]</i> <i>Література допоміжна: [-]</i></p>
7	<p>Основні види руйнувань. Крихке та в'язке руйнування. Основні положення механіки руйнування. Характерні особливості крихкого, крихке-в'язкого і в'язкого видів руйнування. <i>СР: Стадії крихкого та в'язкого руйнування</i> <i>Література основна: [8, 15]</i> <i>Література допоміжна: [10]</i></p>
8	<p>Феноменологічні уявлення про напружений стан суцільного середовища. Тензор напружень, тензор деформацій, вектор переміщень. Інваріанти тензорів напружень і деформацій. Основні положення механіки суцільного середовища, застосовність понять механічного напруження. Математичний опис напружено-деформованого стану, закон Гука. Основи тензорного аналізу. Види напружень. <i>СР: Плоска (двовимірна) задача теорії пружності. Плоский деформований стан. Плоский напружений стан.</i> <i>Література основна: [8, 15]</i> <i>Література допоміжна: [10]</i></p>
9	<p>Умови появи непружних деформацій миттєвої пластичності і повзучості, температурні деформації. Діаграма одновісного навантаження, межа течіння, зміцнення. Фізичні механізми зміни природи деформування матеріалу з ростом зовнішнього навантаження. Деформування при підвищених температурах і тривалому статичному навантаженні. Критерії переходу до пластичного деформації. <i>СР: Повзучість матеріалів. Вплив температури та напружень на повзучість. Типова крива повзучості</i> <i>Література основна: [8, 15]</i> <i>Література допоміжна: [10]</i></p>
10	<p>Механізм виникнення зварювальних напружень і деформацій. Вплив локального нерівномірного нагрівання та плавлення на кінетику розвитку деформацій в металі. Модель трьох стрижнів. Види зварювальних деформацій. <i>СР: Лінійне та об'ємне теплове розширення твердих тіл</i></p>

	<p><i>Література основна: [8, 9, 11, 12]</i></p> <p><i>Література допоміжна: [8, 9]</i></p>
11	<p>Основні особливості розподілу залишкових зварювальних напружень в конструкціях.</p> <p>Види напружено-деформованого стану. Можливі наближення напружено-деформованого стану для зварних з'єднань і конструкцій різного типу і їх математична інтерпретація. Напруження і деформації в зварних конструкціях від зовнішнього навантаження. Особливості розподілу напружень в зоні стикових, таврових з'єднань.</p> <p><i>СР: . Особливості розподілу напружень у покриттях.</i></p> <p><i>Література основна: [8, 9, 11, 12]</i></p> <p><i>Література допоміжна: []</i></p>
12	<p>Концентрація напружень і деформацій.</p> <p>Номінальні напруження для зварних з'єднань і вузлів. Взаємодія напружень, обумовлених зовнішнім силовим впливом на конструкцію, з залишковими післязварювальними напруженнями. Методи оцінки локальних напружень в області геометричних або фізичних неоднорідностей. Розрахунок характерних концентраторів напружень.</p> <p><i>СР: Механічна післязварювальна обробка для зниження концентрації напружень.</i></p> <p><i>Література основна: [8, 11, 15]</i></p> <p><i>Література допоміжна: [10]</i></p>
13	<p>Чисельні методи визначення зварювальних напружень і деформацій.</p> <p>Механічна і фізична моделі розрахунку зварювальних напружень і деформацій. Основні поняття про метод скінчених елементів. Пакети програм.</p> <p><i>СР: Пакет програм Salome-Meca (Code-Aster) для розрахунку напружено-деформованого стану методом скінчених елементів.</i></p> <p><i>Література основна: [9, 12, 14]</i></p> <p><i>Література допоміжна: [9, 11, 12]</i></p>
14	<p>Малоциклова та багатоциклова втома.</p> <p>Виникнення і розвиток втомних пошкоджень металу. Діаграма Веллера. Діаграма Гудмана. Основні фактори, що визначають характеристики опору втомі зварних з'єднань.</p> <p><i>СР: Вплив асиметрії циклу та експлуатаційних факторів на величину границі витривалості</i></p> <p><i>Література основна: [10]</i></p> <p><i>Література допоміжна: [-]</i></p>
15	<p>Експериментальні методи вимірювання переміщень, деформацій та напружень.</p> <p>Механічні, оптичні та електротензометричні методи вимірювання переміщень та деформацій. Експериментальні методи визначення залишкових напружень. Фізичні (акустичні, магнітні, дифракційні) та механічні (метод Закса, отворів, розрізки, тощо) методи дослідження напруженого стану зварних конструкцій, їх основні переваги та недоліки.</p> <p><i>СР: Методи рентгенівської та нейтронної дифракції визначення залишкових напружень</i></p> <p><i>Література основна: [8, 13]</i></p> <p><i>Література допоміжна: [-]</i></p>
16	<p>Методи визначення властивостей матеріалів при статичному навантаженні.</p> <p>Випробування матеріалів на розтяг-стиск. Характеристики міцності і пластичності. Ідеалізовані діаграми. Потенційна енергія деформації (повна, питома).</p> <p><i>СР: Експериментальні методи та нормативні документи, що регламентують визначення механічних властивостей матеріалів</i></p>

	<i>Література, основна: [12, 15, 17(том3)] Література допоміжна: [10]</i>
17	Особливості крихкого та в'язкого руйнування матеріалів. Діаграма стиску. Основні механічні характеристики. Особливості руйнування пластичних і крихких матеріалів при розтягуванні-стисненні маловуглецевої сталі і чавуну. <i>СР: Методи визначення та особливості крихкого і в'язкого руйнування матеріалів</i> <i>Література, основна: [14, 15, 16]</i> <i>Література допоміжна: [10, 14]</i>
18	Критерії крихкого руйнування. Загальні поняття про теорії міцності. Критерій руйнування шляхом відриву (крихке руйнування). Короткі відомості про першу і другу теорії міцності. Теорія міцності Мора. <i>СР: Теорії міцності та критерії крихкого руйнування матеріалів</i> <i>Література, основна: [15, 16, 17 (том 1)]</i> <i>Література допоміжна: [10, 13, 15]</i>

5. Практичні заняття¹

Основні завдання циклу практичних занять є закріплення знань, що були одержані на лекційних заняттях.

№ з/п	Назва теми заняття
1	Підготовка об'єктів для металографічних досліджень. Дослідження і аналіз макрота мікроструктури литого металу (2 години).
2	Побудова кривих охолодження та визначення фаз. Аналіз стану діаграми залізо – цементит (2 години).
3	Дослідження та аналіз макро- і мікроструктури зварних з'єднань сталей та кольорових металів, отриманих різними способами зварювання (2 години).
4	Визначення величини (балу) зерна мікроструктури сплавів та зварних з'єднань (2 години).
5	Вимірювання твердості матеріалів. Вимірювання мікротвердості структурних складових матеріалів (2 години).
6	Розрахунок розподілу залишкових зварювальних напружень на основі моделі трьох стрижнів. (4 години)
7	Розрахунок розподілу залишкових зварювальних напружень в покриттях. (2 години)
8	Робота з програмним пакетом Code-Aster для чисельного розрахунку методом скінчених елементів. (2 години).
9	Побудова геометричної моделі та розбиття на скінчені елементи зварного з'єднання в пакеті програм Code-Aster. (2 години).
10	Розрахунок кінетики залишкових напружень та деформацій в зварних з'єднаннях з використанням пакету програм Code-Aster. (2 години).
11	Розрахунок кінетики залишкових напружень та деформацій в покриттях з використанням пакету програм Code-Aster. (2 години).
12	Експериментальне вимірювання переміщень та деформацій методами лазерної інтерферометрії. (1 година)
13	Експериментальне визначення залишкових напружень методом спекл-інтерферометрії в поєднанні з методом отворів. (1 година)
14	Визначення механічних властивостей при статичному навантаженні та побудова діаграм «напруження-деформація» (8 години).
15	Визначення характеристик тріщиностійкості матеріалів при статичному навантаженні (8 години).

¹ За наявності ПЗ

6. Семінарські заняття ²

Семінарські заняття навчальним планом не передбачені.

7. Лабораторні заняття ³

Лабораторні заняття навчальним планом не передбачені.

8. Самостійна робота ⁴

Робочою навчальною програмою кредитного модулю «Методи дослідження фазового складу, структури та фізико-механічних властивостей матеріалів» відведено 122 годин на самостійну роботу аспіранта, яка міститься у роботі над конспектом лекцій, монографіями, підручниками, науковими періодичними виданнями, базами наукової електронної інформації при підготовці до лекцій, практичних занять, та на підготовку до іспиту.

9. Контрольні роботи ⁵

Підсумковий контроль результатів навчання проводиться у формі екзамену.

10. Рейтингова система оцінювання результатів навчання ⁶

з кредитного модуля (дисципліни): «Сучасні методи визначення характеристик структури та властивостей матеріалів», ОНП 4/І
для спеціальності: 132 Матеріалознавство

Розподіл навчального часу за видами занять і завдань з дисципліни згідно з робочим навчальним планом.

Семестр	Навчальний час		Розподіл навчальних годин				Контрольні заходи		
	кредити	академічних годин	Лекції	Практика	Лаб. заняття	СР аспіранта	МКР	РР	Семестрова атестація
2	6	180	46	42	-	92	-	-	Екзамен

Рейтинг студента з дисципліни ⁷ складається з балів, що він отримує на:

1. питання, що кожен аспірант отримує у кінці кожного практичного заняття (час відповіді 15 хвилин);
2. відповідь при проведенні екзамену.

² За наявності СЗ

³ За наявності ЛР, КП

⁴ За умови виділення певної частки навчального матеріалу на самостійне вивчення.

⁵ За наявності

⁶ Вимоги до РСО та методика її складання надані у Положенні про рейтингову систему оцінювання результатів навчання студентів / Уклад.: В. П. Головенкін. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 20 с.

Система рейтингових (вагових) балів та критерії оцінювання

1. Робота на практичних заняттях

Ваговий бал – 2,7. Максимальна кількість балів на всіх практичних заняттях дорівнює **2,7×15=40 балів (2,7 балів** - відповідь на питання, 0 балів - відсутність відповіді)

2. Штрафні бали

Відсутність на лекції, або на практичному занятті без поважної причини **-1 бал;**

Розрахунок шкали (R) рейтингу:

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає:

R_C=40 балів

На екзамені аспіранти виконують письмову контрольну роботу. Кожне завдання містить три теоретичних питання. Перелік питань наведено у робочій навчальній програмі. Кожне питання оцінюється у 20 балів.

Система оцінювання питань:

- «відмінно» - повна відповідь (не менше 95% потрібної інформації) – 19-20 балів;
- «дуже добре» - майже повна відповідь (не менше 85% потрібної інформації) – 17-18 балів;
- «добре» - достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації, або незначні неточності) – 15-16 балів;
- «задовільно» - неповна відповідь (не менше 65% потрібної інформації та деякі помилки) – 13-14 балів;
- «достатньо» - неповна відповідь із значними недоліками (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 12 балів;
- «незадовільно» - загалом неправильна відповідь, або її відсутність – 0...11 балів.

R_E=60 балів

Сума стартових балів і балів за іспитову контрольну роботу переводиться до іспитової оцінки згідно з таблицею:

Бали R_D= R_C+R_E	Екзаменаційна оцінка
95...100	Відмінно
85...94	Дуже добре
75...84	Добре
65...74	Задовільно
60...64	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
R_C<8	Не допущено

11. Методичні рекомендації

Робоча навчальна програма складена з урахуванням напрямлення підготовки фахівця. Для послідовного та повного вивчення та засвоєння матеріалу вона складається з 3 пов'язаних між собою розділів. Особливу увагу слід приділяти не тільки засвоєнню конкретних теоретичних положень, а й практичному їх використанню. На основі одержаних знань аспіранти повинні сформулювати уявлення про основні тенденції розвитку сучасного теоретичного і прикладного матеріалознавства та оволодіти термінологією з наукового напрямку, що досліджується.

12. Рекомендована література

12.1 Базова:

1. Гуляев А.П. *Металловедение: Учебник для вузов.* - М.: Металлургия, 1985. - 542с.
2. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. *Материаловедение: Учебник для вузов.* - М.: Машиностроение, 1990. - 528 с.
3. Арзамасов Б.Н., Макарова В.И., Мухин Г.Г., Рыжов Н.М., Силаева В.И. – М: *Материаловедение/ 6-е издание.* - М.- изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 648 с.
4. Бялік О.М., Черненко В.С., Писаренко В.М., Москаленко Ю.Н. *Металознавство: Підручник:* - Київ: ІВЦ «Політехніка», 2001. – 375 с.
5. Кузін О.А., Яцюк Р.А. *Металознавство та термічна обробка металів. Підручник* - Львів: Афіша, 2002.- 304 с.
6. Пилюшенко В.Л., Винокур Б.Б., Кондратюк С.Е., Зац Е.Л., Пилюшенко Р.А., Кологривова Л.Н. *Справочник по практическому металловедению.* – К.: Техніка, 1984.-135 с.
7. *Сварные конструкции. Основы проектирования конструкций.* Под ред. Л.М. Лобанова. – Киев: Наукова думка, 1993. – 416 с.
8. Махненко В.И. *Расчетные методы исследования кинетики сварочных напряжений и деформаций.* – Киев: Наукова Думка, 1976. – 320 с.
9. Труфяков В.И. *Усталость сварных конструкций.* К.: Наукова думка, 1973. – 216 с.
10. Махненко В.И. *Ресурс безопасной эксплуатации сварных соединений и узлов современных конструкций.* – Киев: Наукова Думка, 2006. –619 с.
11. Рыкалин Н.Н. *Расчеты тепловых процессов при сварке.* М.: Государственное научно-техническое издательство научно-технической литературы, 1951. – 296 с.
12. *Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений/* Б.С. Касаткин, А.Б. Кудрин, Л.М. Лобанов, В.А. Пивторак, П.И. Получин, Н.А. Чичинев. Киев: Наукова думка, 1981, - 584с.
13. Галлагер Р. *Метод конечных элементов. Основы:* Пер. с англ.- М.: Мир, 1984. – 428 с.
14. Макклиток Ф., Аргон А. *Деформация и разрушение материалов.* М.: Мир, 1970. 443 с.
15. *Опір матеріалів/* Писаренко Г.С., Квітка О.Л., Уманський Є.С. – 2-ге видання доповнене і перероблене – Київ, «Вища школа», 2004. 653с.
16. Давид Брок. *Основы механики разрушения.* – М.: Металлургия, 1980. – 192 с.
17. *Механіка руйнування та міцність матеріалів Том 1-11/Довідковий посібник під загальною редакцією В.В. Панасюка.* – Львів.: Спослом, 2009. – 304 с.

12.2 Допоміжна:

1. Гольдштейн М.И., Грачев С.В., Векслер Ю.Г. Специальные стали. – М.: Metallurgy, 1985. – 367 с.
2. Блатнер М.Е. Теория термической обработки. – М.: Metallurgy, 1984. – 327 с.
3. Грабин В.Ф. Metallovedenie svarki plavleniem. K.: Naukova dumka, 1982. – 416 с.
4. Ильин А.А., Колачев Б.А., Полькин И.С. (2009) *Титановые сплавы. Состав, структура, свойства*. Справочник. Москва, ВИЛС – МАТИ.
5. Большаков В.И., Сухомлин Г.Д., Лаухин Д.В. Atlas struktur metallov i spлавov. – Dnepropetrovsk: GVUZ «PPGASA», 2010. – 174 с.
6. Грабин В.Ф., Денисенко А.В., Новикова Д.П., Сидляренко В.А. Реактивы для выявления макро- и микроструктур сварных соединений сталей и сплавов. K.: Naukova dumka, 1977.
7. http://metall-2006.narod.ru/metall_slaid_lekcia.html
8. Прохоров Н.Н. Физические процессы в металлах при сварке. В двух томах, Metallurgy, Москва, 1976.
9. Теория сварочных процессов. Под ред. В.В. Фролова. –М.: Высшая школа, 1988.– 660 с.
10. Работнов Ю.Н. Механика твердого деформируемого тела. – М.: «Наука», 1988. – 712 с.
11. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы. – М.: Наука, 1989. – 432 с.
12. <https://www.code-aster.org>.
13. Давид Броек. Основы механики разрушения. – М.: Metallurgy, 1980. – 192 с.
14. Механiка руйнування та мiцнiсть матерiалiв Том 1-11/Довiдковий посiбник пiд загальною редакцiєю В.В. Панасюка. – Львiв.: Спослом, 2009. – 304 с.
15. В.И. Махненко Ресурс безопасной эксплуатации сварных соединений и узлов современных конструкций.-К. Наукова думка-2006.-617с
16. Журнал «Проблемы прочности»- К. Институт проблем прочности НАН Украины, 2000-2020гг
17. Международный научно-технический и производственный журнал "Техническая диагностика и неразрушающий контроль". - К.: ИЭС им. Е.О. Патона, 1985-2020 гг.