

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» липня 2020 р.

**« Конструкційні сталі та їх здатність до зварювання»**

(назва навчальної дисципліни)

З/П  
(шифр за ОП)

**РОБОЧА ПРОГРАМА**  
**навчальної дисципліни**

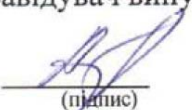
рівень вищої освіти – доктор філософії з матеріалознавства  
форма навчання – денна  
спеціальність – 132 – Матеріалознавство  
галузь знань – 13 – механічна інженерія  
освітня програма – Матеріалознавство

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» липня 2020 р.

Робоча програма кредитного модуля

Характеристики конструкційних сталей та їх здатність до зварювання  
(назва кредитного модуля)

для аспірантів за спеціальністю 132 – матеріалознавство,  
рівень вищої освіти PhD, за денною формою навчання  
складена відповідно до програми навчальної дисципліни

Характеристики конструкційних сталей та їх здатність до зварювання  
(назва навчальної дисципліни)

Розробники робочої програми:

Зав. відділом, д.т.н., с.н.с. Головка Віктор Володимирович  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Пров. наук. співр., д.т.н., с.н.с. Скульський Валентин Юрійович  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Пров. наук. співр., д.т.н., с.н.с. Гайворонський Олександр Анатолійович  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Робочу програму затверджено на засіданні вченої ради  
ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України

Протокол від «03» липень 2020 року № 1

Вчений секретар  
ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України

I.M. Клочков  
(підпис) (ініціали, прізвище)

«06» липень 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 «Конструкційні сталі та їх здатність до зварювання»	Лекції _32_ год.
Спеціальність 132 – Матеріалознавство (шифр і назва)	Цикл професійної підготовки	Практичні _6_ год.
Освітня програма <u>ОНП З/Ц,</u> «Конструкційні сталі та їх здатність до зварювання» (ОПП, ОНП, назва)	Статус кредитного модуля <u>вибірковий</u> (обов'язковий, вибірковий)	Лабораторні роботи _0_ год.
		Самостійна робота _82_ год., у тому числі на виконання індивідуального завдання _0_ год.
	Семестр <u>4</u>	Індивідуальне завдання (вид)
Форма навчання <u>денна</u> (денна, заочна)	Кількість кредитів (годин) <u>4/120</u>	Вид та форма семестрового контролю (екзамен / залік; усний / письмовий / тестування тощо) <b>екзамен</b>

Зварюваність вуглецевих та низьколегованих сталей визначаються всією попередньою технологією одержання зварних з'єднань. Вони тісно пов'язані з термічним циклом зварювання, перегрівом металу зварювальної ванни над лінією ліквідус, витримкою металу в рідкому стані, швидкістю кристалізації, складом та фізико-хімічними параметрами зварювальних матеріалів та ін. Структура металу зварних швів суттєво впливає на показники зварюваності металу. Тому для розуміння технологічних сторін виготовлення зварних металоконструкцій необхідно знати як структуру металу швів та і можливості впливу на механічні властивості зварних з'єднань, таким чином, щоб одержувати необхідну структуру і властивості зварних конструкцій. Тому метою кредитного модуля «Характеристики конструкційних сталей та їх здатність до зварювання» є надання аспірантам знань про структуру та властивості металів швів і зварних з'єднань, які впливають на характеристики зварюваності, про методи визначення зварюваності вуглецевих та низьколегованих сталей.

Дослідник в галузі зварювання як спеціаліст повинен мати глибокі теоретичні знання і володіти відповідними навичками використання фундаментальних знань для їх застосування при одержанні високоякісних зварних з'єднань з підвищеними властивостями металу швів.

Даний курс має велике значення для формування майбутнього дослідника-зварника, він розширює науково-дослідницькі та технологічні можливості спеціаліста. Кредитний модуль пов'язаний з дисциплінами:

- «Методи дослідження фазового складу, структури та фізико-механічних властивостей» (4/І),
- «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 плавленням» (2/ІІ),

- «Конструкційні сплави на основі нікелю, титану та алюмінію і їх здатність до зварювання» (4/II),
- «Основи конструкційної міцності» (5/II),
- «Дослідження процесу руйнування матеріалів методом акустичної емісії» (6/II),
- «Теорія і експериментальні методи дослідження розповсюдження хвиль акустичної емісії в матеріалах» (7/II),
- «Прогнозування руйнування конструкцій методом акустичної емісії» (8/II).

## **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 3).
- Здатність розроблення та реалізація проектів, включаючи власні дослідження (код ЗК 4).
- Здатність ініціювання дослідницько-інноваційних проектів та автономно працювати під час їх реалізації(код ЗК 5).
- Здатність до самостійного освоєння нових методів дослідження(код ЗК 8).
- 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 ініціювати, розробляти і реалізовувати комплексні інноваційні проекти в механічній інженерії та дотичні до неї міждисциплінарні проекти, лідерство під час їх реалізації(код ФК 1).
- Здатність самостійно виконувати наукові дослідження в галузі матеріалознавства на основі сучасних теорій та методів термодинаміки, кінетики процесів в матеріалах, фізики конденсованого стану, та інформаційнокомунікаційних технологій(код ФК 2).
- Системний науковий світогляд та загальнокультурний кругозір(код ФК 3).
- 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 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).

### **1.2. Основні завдання навчальної дисципліни.**

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

**Знання:**

- методик аналізу та синтезу знань при вирішенні проблем в широкому контексті матеріалознавчих та міждисциплінарних задач, в тому числі, за умов невизначеності чи неповної інформації (код ЗН 1);
- загальних принципів і методів природничих та технічних наук, а також методології наукових досліджень, їх застосування у власних дослідженнях у сфері матеріалознавства (ЗН 3);
- новітніх світових досягнень науки, техніки та технологій в галузі матеріалознавства та суміжних сферах (ЗН 5);
- закономірностей керування складом, структурою та властивостями матеріалів різної природи та функціонального призначення (код ЗН 7);

#### Уміння:

- Використовувати необхідні для обґрунтування висновків докази, зокрема, результати теоретичного аналізу, експериментальних досліджень і математичного та/або комп'ютерного моделювання, наявні емпіричні дані(код УМ 2);
- Застосовувати логіку та методологію наукового пізнання(код УМ 3);
- Застосовувати аналіз та синтез знань при вирішенні проблем в широкому контексті матеріалознавчих та міждисциплінарних задач, в тому числі, за умов невизначеності чи неповної інформації(код УМ 4);
- Забезпечувати оригінальні розробки та ідей в контексті наукового дослідження(код УМ 5);
- Орієнтуватися в сучасних тенденціях та потребах суспільства з метою їх використання в професійній галузі; проявити вищу ступінь відповідальності за соціальні, культурні та екологічні наслідки комплексної технічної діяльності в контексті сталого розвитку; виявити готовність до ведення технічної діяльності з дотриманням етичних норм(код УМ 6);
- синтезувати знання та формулювати висновки, обґрунтовувати їх для фахової та нефахової аудиторії (код УМ 8);
- На основі аналізу потреб виробництва формулювати вимоги щодо рівня вла-стивостей нових матеріалів(код УМ 10);
- Постійно удосконалювати свій загальний інтелектуальний та професійний рівень(код УМ 11);
- генерувати нові ідеї для вирішення науково-дослідних проектів та дослідницько-конструкторських робіт (код УМ 12);
- Практично визначати умови необхідні для реалізації процесу з'єднання конструкційних сталей та проводити відбір зварювальних матеріалів для отримання необхідних властивостей нероз'ємних з'єднань(код УМ 20);

### 3. Структура кредитного модуля

Назви розділів і тем	Кількість годин			
	Всього	у тому числі		
		Лекції	Практичні	Лабораторні
<b>Розділ I. Характеристики вуглецевих та низьколегованих сталей та їх здатність до зварювання</b>				

<i>Тема 1.1. Основні аспекти проблеми зварюваності</i>	6	2	-	-	4
<i>Тема 1.2. Гарячі тріщини в металі зварних з'єднань</i>	6	3	-	-	3
<i>Тема 1.3. Холодні тріщини в зварних з'єднаннях</i>	6	3	-	-	3
<i>Тема 1.4. Пори в зварних швах</i>	5	2	-	-	3
<i>Тема 1.5. Неметалеві включення в металі швів</i>	8	2	2	-	4
<b>Разом за розділом 1</b>	<b>31</b>	<b>12</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>17</b>
<i>Розділ 2. Характеристики теплостійких, жароміцних і корозійностійких сталей та їх здатність до зварювання</i>					
<i>Тема 2.1. Сталі і особливості фазових перетворень</i>	6	2	-	-	4
<i>Тема 2.2. Закономірності перетворень і формування структури при зварюванні</i>	6	2	-	-	4
<i>Тема 2.3. Структура, властивості і основи зварювання теплостійких сталей</i>	5	2	-	-	3
<i>Тема 2.4. Загальна характеристика високолегованих хромистих сталей і технології їх зварювання</i>	5	2	-	-	3
<i>Тема 2.5. Експлуатаційні властивості високолегованих хромонікелевих сталей, пошкодження при зварюванні і в агресивних середовищах. Загальні рекомендації з запобігання утворенню дефектів</i>	8	2	2	-	4
<b>Разом за розділом 2</b>	<b>30</b>	<b>10</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>18</b>
<i>Розділ 3. Характеристики конструкційних сталей підвищеної і високої міцності та високовуглецевих сталей та їх здатність до зварювання</i>					
<i>Тема 3.1. Характеристика конструкційних сталей за класом міцності та загальні положення з розробки технологій їх зварювання</i>	6	2	-	-	4
<i>Тема 3.2. Визначення зварюваності та умов утворення холодних тріщин в зварних з'єднаннях конструкційних сталей підвищеної та високої міцності</i>	6	2	-	-	4
<i>Тема 3.3. Зварюваність та розробка технологій зварювання при виготовленні та ремонті виробів з конструкційних низьколегованих сталей підвищеної та високої міцності</i>	5	2	-	-	3

<i>Тема 3.4. Зварюваність та розробка технологій зварювання виробів з конструкційних середньо та високовуглецевих легированих сталей високої міцності</i>	4	2	-	-	2
<i>Тема 3.5. Зварюваність та розробка технологій зварювання-наплавлення виробів з високовуглецевих сталей високої міцності</i>	8	2	2	-	4
<b>Разом за розділом 3</b>	<b>29</b>	<b>10</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>17</b>
<i>Екзамен</i>					<b>30</b>
<i>Всього годин</i>	<b>120</b>	<b>32</b>	<b>6</b>		<b>82</b>

#### 4. Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, завдання на СРС з посиланням на літературу)
1	<p><i>Лекція 1.1. Основні аспекти проблеми зварюваності</i></p> <p>Предмет та задачі курсу. Формування поняття зварюваності. Класифікація методів оцінювання зварюваності. Опис проблем зварюваності вуглецевих та низьколегированих сталей на базі сучасні знання про природу зварювальних процесів. ДСТУ 30242- 97 «Дефекти з'єднань при зварюванні металів плавленням. Класифікація, позначення і визначення».</p> <p>Завдання на СРА:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.Класифікація методів оцінювання зварюваності.</li> <li>2.Проблеми зварюваності вуглецевих та низьколегированих сталей на базі сучасні знання про природу зварювальних процесів.</li> <li>3.ДСТУ 30242- 97 «Дефекти з'єднань при зварюванні металів плавленням. Класифікація, позначення і визначення».</li> </ol> <p>Література основна: [1-4] Література допоміжна: [1-3]</p>
2	<p>Найбільш суттєві дефекти при зварюванні та наплавленні вуглецевих і низьколегированих сталей, які визначають зварюваність сталей. Умови фазових та структурних перетворень, які мають місце при формуванні зварного з'єднання. Розгляд особливостей формування структури вуглецевих і низьколегированих сталей з метою визначення факторів, які можуть спричинити утворення таких небезпечних дефектів як тріщини.</p> <p>Завдання на СРА:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.Найбільш суттєві дефекти при зварюванні та наплавленні вуглецевих і низьколегированих сталей, які визначають зварюваність сталей.</li> <li>2. Умови фазових та структурних перетворень, які мають місце при формуванні зварного з'єднання.</li> <li>3. Особливості формування структури вуглецевих і низьколегированих сталей, які можуть спричинити утворення тріщин.</li> </ol> <p>Література основна: [1-4]</p>

	Література допоміжна: [1-3]
3	<p><i>Лекція 1.2. Гарячі тріщини в метали зварних з'єднань</i></p> <p>Види тріщин в металі зварних з'єднань. Механізм утворення гарячих тріщин. Можливі місця виникнення гарячих тріщин. Основна причина виникнення гарячих тріщин – деформація металу в наслідок структурних перетворень. Теоретичні уявлення щодо утворення гарячих тріщини. Температурні інтервали крихкості ТИХ1, ТИХ2, ТИХ3. Вплив перлітного розширення структури на стійкість проти утворення гарячих тріщин. Запобігання утворенню гарячих тріщин. Заходи боротьби з причинами, що сприяють утворенню гарячих тріщин.</p> <p>Завдання на СРА:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Механізм утворення гарячих тріщин.</li> <li>2. Температурні інтервали крихкості ТИХ1, ТИХ2, ТИХ3.</li> <li>3. Запобігання утворенню гарячих тріщин.</li> </ol> <p>Література основна: [4-6] Література допоміжна: [1-3]</p>
4	<p>Оцінювання схильності металу шва до утворення гарячих тріщин шляхом розрахунку сіркового еквіваленту. Нормативи щодо заварювання тріщин. Методи випробування на опір утворенню гарячих тріщин при зварюванні плавленням. Розрахунок стійкості проти утворення гарячих тріщин при машинних випробуваннях зварюваних зразків на розтягування. Розрахунок критичної швидкості зварювання за результатами технологічних випробувань.</p> <p>Завдання на СРА:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Методи випробування на опір утворенню гарячих тріщин при зварюванні плавленням.</li> <li>2. Розрахунок стійкості проти утворення гарячих тріщин при машинних випробуваннях.</li> <li>3. Розрахунок критичної швидкості зварювання.</li> </ol> <p>Література основна: [4-6] Література допоміжна: [1-3]</p>
5	<p><i>Лекція 1.3. Холодні тріщини в зварних з'єднаннях</i></p> <p>Механізм утворення холодних тріщин. Можливі місця виникнення холодних тріщин. Різновиди холодних тріщин в зварних з'єднаннях. Основні положення теорії, відповідно з якою холодні тріщини утворюються в зварному шві чи ЗТВ при наявності загартувальних структур, Роль структури в розвитку мікропластичної деформації в приграничних зонах зерен. Вплив поведінки водню в металі на схильність вуглецевих та низьколегованих сталей до крихкого руйнування.</p> <p>Завдання на СРА:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Механізм утворення холодних тріщин.</li> <li>2. Роль структури в розвитку мікропластичної деформації в приграничних зонах зерен.</li> <li>3. Вплив поведінки водню в металі на схильність вуглецевих та низьколегованих сталей до крихкого руйнування.</li> </ol> <p>Література основна: [7-9] Література допоміжна: [1-3]</p>
6.	<p>Розрахункові методи оцінювання схильності сталей до утворення холодних тріщин. Стандартні методи визначення вмісту водню в метали швів. Заходи щодо зменшення ризиків утворення холодних тріщин.</p>



	<p>Методи випробування на стійкість проти утворення холодних тріщин при зварюванні плавленням.</p> <p>Завдання на СРА:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Розрахункові методи оцінювання схильності сталей до утворення холодних тріщин.</li> <li>2. Заходи щодо зменшення ризиків утворення холодних тріщин.</li> <li>3. Методи випробування на стійкість проти утворення холодних тріщин при зварюванні плавленням.</li> </ol> <p>Література основна: [7-9] Література допоміжна: [1-3]</p>
7	<p><i>Лекція 1.4. Пори в зварних швах</i></p> <p>Умови формування пори у зварних швах. Реакції розпаду молекул газу та газової дисоціації. Процеси розчинення газів в зварювальній дузі, краплі рідкого металу і зварювальній ванні. Утворення пор в шві в результаті вивільнення водню або азоту або окису вуглецю з металу в момент його затвердіння. Формування газових бульбашок в рідкому металі. Утворення газових включень в результаті реакції вигорання карбону.</p> <p>Завдання на СРА:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Умови формування пори у зварних швах.</li> <li>2. Утворення пор в шві в результаті вивільнення водню або азоту або окису вуглецю з металу в момент його затвердіння.</li> <li>3. Утворення газових включень в результаті реакції вигорання карбону.</li> </ol> <p>Література основна: [8-10] Література допоміжна: [1-3]</p>
8	<p>Етапи утворення пор. Вплив міжфазних процесів на формування пор в рідкому металі. Пори в швах, зварених електродами з покриттям основного виду. Пори в швах, виконаних електродами карбонатно - флюоритного типу. Пори в швах, зварених електродами з покриттям рутилового виду. Пори при зварюванні порошковим дротом. Зниження ймовірності утворення пористості зварних швів. Випробування на стійкість проти утворення пор.</p> <p>Завдання на СРА:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Пори в швах, зварених електродами для ручного дугового зварювання.</li> <li>2. Зниження ймовірності утворення пористості зварних швів.</li> <li>3. Випробування на стійкість проти утворення пор.</li> </ol> <p>Література основна: [8-10] Література допоміжна: [1-3]</p>
9	<p><i>Лекція 1.5. Неметалеві включення в металі швів</i></p> <p>Вплив неметалевих включень на формування структури та механічні властивості зварних швів. Основні способи перенесення хімічних елементів в зварювальній дузі. Поняття кисневого потенціалу металевих та шлакових розплавів. Вільна енергія утворення оксидів та нітридів. Схема руху домішок в міждендритних областях при кристалізації. Вплив інтенсивності потоків в зварювальній ванні на розподіл включень в металі швів. Особливості морфологічної будови неметалевих включень в зварних швах.</p> <p>Завдання на СРА:</p>

	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Вплив неметалевих включень на формування структури та механічні властивості зварних швів.</li> <li>2. Вплив інтенсивності потоків в зварювальній ванні на розподіл включень в металі швів.</li> <li>3. Особливості морфологічної будови неметалевих включень в зварних швах.</li> </ol> <p>Література основна: [9-11] Література допоміжна: [1-3]</p>
10	<p>Вплив включень на кінетику міжфазних границь. Вплив кисню на формування мікроструктури і в'язкість металу зварних швів. Вплив неметалевих включень на збіднення твердого розчину. Вплив розміру включення на структуру металу швів. Особливості впливу неметалевих включень на механічні властивості швів. Вплив неметалевих включень на утворення тріщин в металі швів. Методи визначення характеристик неметалевих включень.</p> <p>Завдання на СРА:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Вплив кисню на формування мікроструктури і в'язкість металу зварних швів.</li> <li>2. Особливості впливу неметалевих включень на механічні властивості швів.</li> <li>3. Методи визначення характеристик неметалевих включень.</li> </ol> <p>Література основна: [9-11] Література допоміжна: [1-3]</p>
11	<p><i>Лекція 2.1. Сталі і особливості фазових перетворень</i></p> <p>Загальна класифікація сталей. Фізико-металургійні основи фазових перетворень. Рівноважне і нерівноважне перетворення. Формування структури в залежності від легування. Структури загартування. Основні види термічної обробки. Відпуск і процеси при відпуску, розпад мартенситу.</p> <p>Завдання на СРА:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.Рівноважні діаграми стану.</li> <li>2.Поліморфізм заліза.</li> <li>3.Термокінетичні діаграми перетворення аустеніту.</li> <li>4.Стандартизовані показники механічних властивостей.</li> </ol> <p>Література основна: [1-6] Література допоміжна: [7,8]</p>
12	<p><i>Лекція 2.2. Закономірності перетворень і формування структури при зварюванні</i></p> <p>Реакція сталей на термодформаційний цикл зварювання. Процеси при термодформаційному циклі зварювання. Особливості структурних змін в ЗТВ вуглецевих, низьколегованих і високолегованих сталей, їх вплив на технологічні і експлуатаційні властивості зварних з'єднань.</p> <p>Завдання на СРА:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.Методи оцінювання температур в ЗТВ.</li> <li>2.Ділянки ЗТВ в залежності від температури максимального нагріву.</li> <li>3.Поняття зони сплавлення.</li> </ol>

	<p>4.Відманштеттова структура. Література основна: [1,9-12] Література допоміжна: [13]</p>
13	<p><i>Лекція 2.3. Структура, властивості і основи зварювання теплостійких сталей</i></p> <p>Теплостійкість. Теплостійкі сталі, їх угруповання. Характеристики теплостійкості. Повзучість. Фізико-металургійні основи зміцнення. Загальна характеристика структур в ЗТВ при зварюванні. Структура і експлуатаційні властивості. Загальні відомості щодо технології зварювання. Проблеми при одержанні зварних з'єднань; характеристика фізико-металургійних явищ на стадіях зварювання і відпуску, які впливають на технологічну міцність; заходи з запобігання утворенню дефектів.</p> <p>Завдання на СРА:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.Загальні поняття про дислокації, одиниці вимірювання їх концентрації.</li> <li>2.Експериментальні визначення межі тривалої міцності і межі повзучості.</li> <li>3.Параметр Ларсена–Мілера (Холломона–Джаффе).</li> </ol> <p>Література основна: [10, 14-17] Література допоміжна: [5, 18, 19]</p>
14	<p><i>Лекція 2.4. Загальна характеристика високолегованих хромистих сталей і технології їх зварювання.</i></p> <p>Високолеговані сталі. Роль хрому і нікелю у формуванні експлуатаційних властивостей хромистих сталей. Легування, поняття Cr- і Ni-еквівалентів; фазовий склад і його регулювання. Структура і властивості хромистих сталей, технологічні заходи з їх зварювання.</p> <p>Завдання на СРА:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.Загальне угруповання сталей за вмістом вуглецю, за кількістю легуючих елементів.</li> <li>2.Структурна діаграма Fe-Cr.</li> <li>3.Вплив вуглецю на межі <math>\gamma</math>-області (<math>\gamma</math>-петлі).</li> </ol> <p>Література основна: [1, 10, 20] Література допоміжна: [12]</p>
15	<p><i>Лекція 2.5. Експлуатаційні властивості високолегованих хромонікелевих сталей, пошкодження при зварюванні і в агресивних середовищах. Загальні рекомендації з запобігання утворенню дефектів.</i></p> <p>Високолеговані хромонікелеві сталі. Вплив легування Ni і Cr на структуру, фізико-металургійні властивості. Групи сталей за призначенням. Здатність до зварювання. Різновид тріщин у зварних з'єднаннях. Процеси при кристалізації, формування структури і хімічної неоднорідності. Вплив легування на схильність до гарячих тріщин і заходи з їх попередження. Види корозії; вплив</p>

	<p>термодеформаційного циклу зварювання на корозійну стійкість зварних з'єднань. Загальні рекомендації зі зварювання.</p> <p>Завдання на СРА:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Оцінка фазового складу з допомогою діаграми Шеффлера.</li> <li>2. Визначення частки основного і наплавленого (присадного) металу у формуванні шва.</li> <li>3. Стандартизовані методи випробувань на опірність гарячим тріщинам, особливості методу Транс-Варестрейнт (Trans-Varestreint Test).</li> <li>4. Стандартизовані методи вивчення корозійної стійкості.</li> </ol> <p>Література основна: [1, 10-12, 20-26]  Література допоміжна: [12, 25, 27-29]  Література основна: [1, 10, 20-24]</p>
16	<p><i>Лекція 3.1. Характеристика конструкційних сталей за класом міцності та загальні положення з розробки технологій їх зварювання</i></p> <p>Розподіл та типи конструкційних сталей за вмістом легуючих елементів та механічних властивостей. Вплив легуючих елементів на рівень міцності та пластичності сталей, способи виготовлення та галузі застосування виробів із сталей підвищеної та високої міцності, умови їх експлуатування. Вимоги та послідовність виконання науково-дослідних робіт з досліджень зварюваності та розробки технологій зварювання виробів.</p> <p>Завдання на СРА:</p> <p>Експериментальні та розрахункові методи визначення фізико-механічних властивостей конструкційних сталей та металу зони термічного впливу зварних з'єднань в залежності від їх класу міцності.</p> <p>Література основна: [1-5]  Література допоміжна: [6]</p>
17	<p><i>Лекція 3.2. Визначення зварюваності та умов утворення холодних тріщин в зварних з'єднаннях конструкційних сталей підвищеної та високої міцності</i></p> <p>Способи визначення зварюваності конструкційних сталей підвищеної і високої міцності та фізико-механічних властивостей зварних з'єднань. Розрахункові та експериментальні методи досліджень. Вплив стану структури зварних з'єднань, дифузійного водню та зварювальних напружень, а також системи легування металу шва на утворення та розвиток холодних тріщин в зварних з'єднаннях.</p> <p>Завдання на СРА:</p> <p>Вплив аустенітно-феритного металу шву на особливості структурних перетворень в металі ділянки перегріву зони термічного</p>

	<p>впливу та уповільнене руйнування зварних з'єднань середньовуглецевих легованих сталей.</p> <p>Література основна: [6-11]</p> <p>Література допоміжна: [12-16]</p>
18	<p><i>Лекція 3.3. Зварюваність та розробка технологій зварювання при виготовленні та ремонті виробів з конструкційних низьколегованих сталей підвищеної та високої міцності</i></p> <p>На прикладах сучасних розробок розглядається послідовність виконання науково-дослідних робіт при розробці технологій зварювання відповідальних виробів з конструкційних низьколегованих і вуглецевих сталей підвищеної та високої міцності, що були застосовані при ремонті зварюванням гірничо-збагачувального обладнання, несучих рам автосамоскидів САТ-785С вантажністю 125 т, рам візків локомотивів ВЛ80 та інших відповідальних виробів. Умови забезпечення високої якості зварних з'єднань та надійності виробів після зварювання.</p> <p>Завдання на СРА:</p> <p>Вплив експлуатаційних навантажень на зміну структури металу та вимоги до підготовки розробок під ремонтне зварювання виробів з конструкційних низьколегованих сталей підвищеної та високої міцності.</p> <p>Література основна: [6-11, 17, 18]</p> <p>Література допоміжна: [12-16]</p>
19	<p><i>Лекція 3.4. Зварюваність та розробка технологій зварювання виробів з конструкційних середньо та високовуглецевих легованих сталей високої міцності</i></p> <p>На прикладах сучасних розробок розглядається послідовність виконання науково-дослідних робіт з досліджень зварюваності та розробки технологій зварювання при виготовленні відповідальних виробів з конструкційних середньо та високовуглецевих легованих сталей високої міцності та твердості, які були застосовані при зварюванні металоконструкцій військової бронетехніки та бронезахисту млинів вуглеподрюбнювачів ТЕС. Необхідна послідовність досліджень з отриманням результатів, до дозволяють забезпечити високу якість зварних з'єднань та надійні експлуатаційні властивості виробів.</p> <p>Завдання на СРА:</p> <p>Вплив термодформаційного циклу дугового зварювання на утворення ділянок гартування та відпуску в металі зони термічного впливу в залежності від рівня легування середньо та високовуглецевих легованих сталей.</p> <p>Література основна: [3, 6, 8, 16, 19]</p> <p>Література допоміжна: [20-22]</p>
20	<p><i>Лекція 3.5. Зварюваність та розробка технологій зварювання-наплавлення виробів з високовуглецевих сталей високої міцності</i></p> <p>На прикладах сучасних розробок розглядається послідовність</p>

	<p>виконання науково-дослідних робіт при дослідженнях зварюваності високовуглецевих сталей (<math>C = 0,55-0,75\%</math>) та розробки технологій зварювання-наплавлення зношених поверхонь залізничних коліс. Вплив вмісту вуглецю в сталі та параметрів термодіформаційного циклу наплавлення на зміни структури та фізико-механічні властивості наплавлень. Технологічні рекомендації по відновленню наплавленням залізничних коліс магістрального залізничного транспорту, які забезпечують високу якість наплавлень та надійність залізничних коліс після відновлення в умовах зростаючих експлуатаційних навантажень.</p> <p>Завдання на СРА: Вплив вмісту водню в наплавленому металі на уповільнене та крихке руйнування металу зони термічного впливу зварних з'єднань в залежності від вмісту вуглецю в сталі.</p> <p>Література основна: [5, 23-27] Література допоміжна: [28]</p>
--	--

### 5. Практичні заняття <sup>1</sup>

Основним завданням циклу практичних занять є закріплення знань, що були одержані на лекційних заняттях та придбання умінь і навичок:

№ з/п	Назва теми заняття
1	Методи металографічного дослідження структури металу зварних швів (2 година)
2	Методи визначення стійкості проти крихкого руйнування металу швів високолегованих сталей (2 година)
3	Розрахунки технологічних параметрів процесу зварювання броневих сталей (2 година)

### 6. Семінарські заняття <sup>2</sup>

Семінарські заняття навчальним планом не передбачені.

### 7. Лабораторні заняття <sup>3</sup>

Лабораторні заняття навчальним планом не передбачені.

### 8. Самостійна робота <sup>4</sup>

Робочою навчальною програмою кредитного модулю " Конструкційні сталі та їх здатність до зварювання " відведено 47 годин на самостійну роботу студентів, яка міститься у роботі над конспектом лекцій, монографіями, підручниками, науковими періодичними виданнями, базами наукової електронної інформації при підготовці до лекцій, практичних занять, та при підготовці до іспиту.

### 9. Контрольні роботи <sup>5</sup>

<sup>1</sup> За наявності ПЗ

<sup>2</sup> За наявності СЗ

<sup>3</sup> За наявності ЛР, КП

<sup>4</sup> За умови виділення певної частки навчального матеріалу на самостійне вивчення.

<sup>5</sup> За наявності

Підсумковий контроль результатів навчання проводиться у формі екзамену.

### 10. Рейтингова система оцінювання результатів навчання <sup>6</sup>

з кредитного модуля : «Конструкційні сталі та їх здатність до зварювання»,ОНП 3/ІІ 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	академічні х годин	Лекції	Практика	Лаб. заняття	СР аспіранта	МКР	РР	Семестрова атестація
4	4	120	32	6	-	82	-	-	Екзамен

Рейтинг студента з дисципліни <sup>7</sup> 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.

#### 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:

$$R_c=40 \text{ балів}$$

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;

<sup>6</sup> 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.

- «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<sub>E</sub>=60 балів**

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

Бали <b>R<sub>D</sub>= R<sub>C</sub>+R<sub>E</sub></b>	Екзаменаційна оцінка
95...100	Відмінно
85...94	Дуже добре
75...84	Добре
65...74	Задовільно
60...64	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
<b>R<sub>C</sub>&lt;8</b>	Не допущено

## **11. Методичні рекомендації**

Робоча навчальна програма складена з урахуванням направлення підготовки спеціаліста. Для послідовного та повного вивчення та засвоєння матеріалу вона розбивається на 3 основні розділи. Особливу увагу слід приділяти не тільки засвоєнню конкретних теоретичних положень, а й практичному їх використанню при виявленні можливої структури розплавів по фізичним їх властивостям. При складанні екзамену студенти одержують необхідні експериментальні дані про різні фізичні властивості і на основі одержаних ними знань повинні охарактеризувати структуру рідких сплавів із поясненням механізмів тих чи інших властивостей.

## **12. Рекомендована література.**

### **Базова**

#### **Розділ 1.**

1. Гладкий І.П. Властивості та технологія обробки металевих та неметалевих конструкційних матеріалів / І.П. Гладкий, В.І.Мощенко, В.П. Тарабанова. – Харків : Вид-во ХНАДУ, 2004. □ 274 с.
2. Технология конструкционных материалов и материаловедение. Учебное пособие / И.П. Гладкий, В.И. Мощенко, В.П. Тарабанова, Н.А. Лалазарова, Д.Б. Глушкова. : Харьков: ХНАДУ, 2014. : 528 с.



3. Дяченко С.С. Матеріалознавство : підручник / С. С. Дяченко, І. В. Дощечкіна, А. О. Мовлян, Е. І. Плешаков. – Харків : Вид-во ХНАДУ, 2007. – 440 с.
4. Лебедєв В.Г. Матеріалознавство і термічна обробка зварних з'єднань : Конспект лекцій. - Одеса: Наука і техніка, 2007.-88 с.
5. Єфіменко М.Г., Радзівілова Н.О. Металознавство і термічна обробка зварних з'єднань / М.Г. Єфіменко, Н.О. Радзівілова. – Харків: - 2003. - 488 с.
6. Попович В., Голубець В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Кн. 1 Суми, “Університет книга”, 2002.-264с., т.2-260с
7. Добровольський О.Г. Матеріалознавство та матеріали у машинобудуванні: Навчальний посібник. К. КНУБА., 2004 – 109 с.
8. Городжа А.Д., Добровольський О.Г. та інші Матеріалознавство та електроматеріали: Навчальний посібник. К. КНУБА., 2006 – 304 с.
9. Никифоров В.М. Технологія металів і конструкційні матеріали. К., Вища школа, 1984, 344с.
10. Технология конструкционных материалов. Под ред. Г. А. Прейса. – К.: Вища школа, 1984. – 359 с.
11. Большаков В.И. и др. Металловедение и сварка строительных сталей. К.: УНК ВО, 1989, 223 с.

## **Розділ 2.**

1. Каховский Н. И., Фартушный В. Г., Ющенко К. А. Электродуговая сварка сталей. К.: Наукова думка, 1975. 480 с.
2. Геллер Ю. А., Рахштадт А. Г. Металловедение. М.: Металлургия, 1989, 456 с.
3. Гуляев А. П. Термическая обработка стали. Москва: Машгиз, 1060, 496 с.
4. Гуляев А. П. Металловедение. М.: Металлургия, 1978, 648 с.
5. Новиков И. И. Теория термической обработки. М.: Металлургия, 1978, 392 с.
6. Земзин В. Н., Шрон Р. З., Термическая обработка и свойства сварных соединений. Л.: Машиностроение, 1978, 367 с.
7. Курдюмов Г. В., Утевский Л. М., Энтин Р. И. Превращения в железе и стали. М.: Наука, 1977, 238 с.
8. Kraus G., Marder A. R. The morphology of martensite in iron. Metallurgical Transactions, 1971, p. 2343-2357.
9. Грабин В. Ф. Металловедение сварки плавлением. К.: Наукова думка, 1982, 416 с.
10. Лившиц Л. С. Металловедение для сварщиков. М.: Машиностроение, 1979, 253 с.
11. Грабин В. Ф., Денисенко А. В. Металловедение сварки низко- и среднелегированных сталей, К.: Наукова думка, 1978, 276 с.
12. Акулов А. И., Бельчук Г. А., Демянцевич В. П. Технология и оборудование сварки плавлением., М.: Машиностроение, 1977, 432 с.
13. Металловедение и термическая обработка стали. Справ. издание. в 3 т. Т II. Основы термической обработки. Ред. Бернштейн М. Л., Рахштадт А. Г. М.: Металлургия, 1983. 368 с.
14. Козлов Р. А. Сварка теплоустойчивых сталей. Л.: Машиностроение, 1986, 161 с.
15. Герман С. И Электродуговая сварка теплоустойчивых сталей перлитного класса. М.: Машиностроение, 1972, 202 с.
16. Макаров Э. Л. Холодные трещины при сварке легированных сталей. М.: Машиностроение, 1981, 247 с.
17. Земзин В. Н., Шрон Р. З., Термическая обработка и свойства сварных соединений. Л.: Машиностроение, 1978, 367 с.
18. Хромченко Ф. А., Гинзбург Г. М. Технология и организация сварочных работ на монтаже тепловых электростанций. М.: Энергия, 1967, 416 с.
19. Гарофало Ф. Законы ползучести и длительной прочности металлов. М.: Металлургия, 1968, 304 с.
20. Каховский Н. И. Сварка высоколегированных сталей. К.: Техніка, 1975, 376 с.
21. Гривняк И. Свариваемость сталей. М.: Машиностроение, 1984, 216 с.

22. Лившиц Л. С., Хакимов А. Н. *Металловедение сварки и термическая обработка сварных соединений*. М.: Машиностроение, 1989, 336 с.
23. Yosiaki Arata, Fukuhisa Matsuda, Hiroji Nakagawa et al. Solidification Crack Susceptibility in Weld Metals of Fully Austenitic Stainless Steels (Report III) – Effect of Strain Rate on Cracking Threshold in Weld Metal during Solidification. *Transactions of JWRI*. 6, No.2, 1977, p. 37-46.
24. Fukuhisa Matsuda, Hiroji Nakagawa, Seishiro Ogata, Seiji Katayama. Fractographic Investigation on Solidification Crack in the Vastrestaint Test of Fully Austenitic Stainless Steel – Studies on Fractography of Welded Zone. *Transactions of JWRI*. 7, No.2, 1978, p. 59-70.
25. John C. Lippold. *Welding Metallurgy and Weldability*. Wiley, 2015, 417 p.
26. Структура и коррозия металлов и сплавов. Атлас. Ред Ульянин Е. А. Москва: *Металлургия*, 1989, 400 с.
27. Шоршоров М. Х., Чернышова Т. А., Красовский А. И. *Испытания металлов на свариваемость*. М.: *Металлургия*, 1972, 240 с.
28. Fukuhisa Matsuda, Hiroji Nakagawa, Kazuhiko Sorada. Dynamic observation of Solidification and Solidification Cracking during Welding with Optical Microscope – Solidification Front and Behavior of Cracking. *Transactions of JWRI*. 11, No.2, 1987, p. 67-77.
29. Петров Г. Л. Тумарев А. С. *Теория сварочных процессов*. М.: Высшая школа, 1977, 392 с.

### Розділ 3.

1. Гудремон Э. *Специальные стали*. Т.1. – М.: Государственное НТИ литературы по черной и цветной металлургии, 1959.
2. Берштейн М.Л., Займовский В.А. *Структура и механические свойства металлов*. – М.: *Металлургия*, 1973.
3. *Сварка и свариваемые материалы (Справочник в 3-х томах)*. Т.1. *Свариваемость материалов* / Под ред. В.Н. Волченкова. – М.: *Металлургия*, 1991.
4. Єфіменко М.Г., Радзівілова Н.О. *Металознавство і термічна обробка зварних з'єднань*. – Харків: НТУ ХПІ, 2003. – 488с.
5. *Колесная сталь* / И.Г. Узлов, М.И. Гасик, А.Т. Есаулов и др. – К.: *Техніка*, 1985.
6. *Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением* / Под ред. акад. Б.Е. Патона. – М.: *Машиностроение*, 1974.
7. Макаров Э.Л. *Холодные трещины при сварке легированных сталей*. – М.: *Машиностроение*, 1981.
8. Грабин В.Ф., Денисенко А.В. *Металловедение сварки низко- и среднелегированных сталей*. – К.: *Наукова думка*, 1978. – 272с.
9. Шоршоров М.Х., Чернышова Т.А., Красовский А.Н. *Испытания металлов на свариваемость*. – М.: *Металлургия*, 1972.
10. Seyffarth P. *Z.T.U. – Schaubilder*. – Berlin: VEB Verlag, 1982.
11. Козлов Р.А. *Водород при сварке корпусных сталей*. – Л.: *Судостроение*, 1969.
12. Филиппов Г.А., Саррак В.И. Локальное распределение водорода и внутренние микронапряжения в структуре закаленной стали // *Физика металлов и материаловедение*. – 1980. – 49. - №1. – С.121-125.
13. О двух путях релаксации остаточных микронапряжений в мартенсите стали / Л.Е.Алексеева, В.И.Саррак, С.О.Суворова, Г.А.Филиппов // *Металлофизика*.-1975.-Вып. 61.- С. 79-84.
14. Походня И.К., Швачко В.И. Физическая природа обусловленных водородом холодных трещин в сварных соединениях конструкционных сталей // *Автомат. сварка*. – 1997. – №5. – С.3-10.
15. Ющенко К.А. *Свариваемость и перспективные процессы сварки материалов* // *Автомат. сварка*. – 2004. - №9. – С. 40-45.
16. Махненко В.И. *Расчетные методы исследования кинетики сварочных напряжений и деформаций*. – К.: *Наукова думка*, 1976.
17. Мусияченко В.Ф. *Основы металлургии и технологии сварки высокопрочных низколегированных сталей* / В.Ф. Мусияченко – К.: *Наукова думка*, 1976.

18. Прочность сварных соединений при переменных нагрузках /Под ред. В.И.Труфякова. – Киев: Наукова думка, 1990.
19. Макара А.М., Мосендз Н.А. Сварка высокопрочных сталей. – К.: Техніка, 1971.
20. Влияние типа металла шва на структуру, свойства и сопротивляемость соединений высокопрочных закаливающихся сталей образованию холодных трещин / В.Г.Гордонный, А.А.Гайворонский, В.А.Саржевский, Ю.М.Лебедев // Автомат. сварка. – 1992. - №11-12. – С.13-16.
21. Образование холодных трещин в сварных соединениях броневых сталей высокой прочности и твердости отечественного и зарубежного производства / А.А.Гайворонский, В.Д.Позняков, А.В.Клапатюк, А.М.Денисенко и др. // Механіка та машинобудування. – 2017. - №1. – С.221-227.
22. Особенности превращения аустенита и механические свойства металла в зоне термического влияния соединений стали марки 71 при дуговой сварке / В.Д.Позняков, А.А.Гайворонский, В.А.Костин, В.В.Дураченко, Ю.Н.Костин // Механіка та машинобудування. – 2017. - №1. – С.254-260.
23. Контактное-усталостное повреждение колес грузовых вагонов / Труды ВНИИЖТ. Под ред. проф. С.М. Захарова. М.: Интекст. – 2004. -160с.
24. Структурные изменения в участке перегрева металла ЗТВ железнодорожных колес при дуговой сварке / А.А.Гайворонский, В.В.Жуков, В.Г.Васильев и др. // Автоматическая сварка. -2014. - №1. – С.17-23.
25. Гайворонський О.А. Умови забезпечення якості відновлених наплавленям залізничних коліс // Наука та прогрес транспорту. Вісник ДНУЗТ ім.В.Лазаряна. – 2016. -№5 (65). - С.136-151.
26. Гайворонский А.А. Влияние диффузионного водорода на сопротивляемость замедленному разрушению сварных соединений высокоуглеродистой стали // Автоматическая сварка. - 2013. - №5. – С.15-21.
27. Гайворонский А.А. Сопротивляемость образованию холодных трещин металла ЗТВ сварного соединения высокопрочных углеродистых сталей // Автоматическая сварка. - 2014. - №2. – С.3-12.
28. Свариваемость высокопрочной углеродистой стали 65Г / А.А.Гайворонский, В.В.Жуков, А.С.Шишкевич // Сварка и диагностика. – 2014. - №5. - С.50-54.

#### **Допоміжна**

29. 1. <http://moodle.ipk.kpi.ua/moodle/course/view.php?id=165>
30. 2. <http://library.weld.kpi.ua/metal-science>
31. 3. <https://books.google.com.ua/books>