

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.

**« Твердофазні процеси формування нероз'ємних  
з'єднань матеріалів»**

(назва навчальної дисципліни)

1/II  
(шифр за ОП)

**РОБОЧА ПРОГРАМА  
навчальної дисципліни**

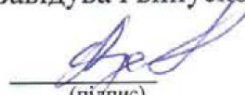
рівень вищої освіти – доктор філософії з матеріалознавства  
форма навчання – денна  
спеціальність – 132 – Матеріалознавство  
галузь знань – 13 – механічна інженерія  
освітня програма – Матеріалознавство

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. Устїнов  
(ініціали, прізвище)  
«06» липня 2020 р.

Робоча програма кредитного модуля

**Твердофазні процеси формування нероз'ємних з'єднань матеріалів**  
складена відповідно до програми навчальної дисципліни:

**«Твердофазні процеси формування нероз'ємних з'єднань матеріалів», 1/П**

Розробники робочої програми:

зав. відділом, д.т.н., ст.н.с. Фальченко Ю.В.  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

  
(підпис)

Програму затверджено на засіданні  
відділу: «Фізико-металургійних процесів зварювання легких металів та сплавів»  
(повна назва відділу)

Протокол від «03» липня 2020 року № 1

Завідувач відділу  
  
(підпис) Ю.В. Фальченко  
(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 «Твердофазні процеси формування нероз'ємних з'єднань матеріалів»	Лекції — <u>32</u> год.
Спеціальність <b>132 – Матеріалознавство</b> (шифр і назва)	Цикл професійної підготовки	Практичні (семінарські) <u>8</u> год.
Освітня програма <b>ОНП 1/Ц, «Твердофазні процеси формування нероз'ємних з'єднань матеріалів»</b> (ОПП, ОНП, назва)	Статус кредитного модуля <b>вибірковий</b> (обов'язковий, вибірковий)	Лабораторні роботи <u>0</u> год.
		Самостійна робота <u>80</u> год., у тому числі на виконання індивідуального завдання <u>0</u> год.
	Семестр <u>2</u>	Індивідуальне завдання (вид)
Форма навчання <b>денна</b> (денна, заочна)	Кількість кредитів (годин) <b><u>4/120</u></b>	Вид та форма семестрового контролю (екзамен / залік; усний / письмовий / тестування тощо) <b>екзамен</b>

Характер поведінки металу при зварюванні в твердій фазі визначається багатьма чинниками, в тому числі: розміром зерна, фазовим складом, ступенем чистоти, наявністю попередніх термічних обробок та іншим. Тому значний вплив на якість зварювання металів та сплавів у твердому стані оказує попередня технологія їх одержання. Структура металу, та його чистота визначається способом плавки та подальшою термо-механічною обробкою. Безпосередньо на характер формування структури з'єднань та їх міцність значний вплив оказує температура зварювання, питомий тиск та час перебування металу при підвищеній температурі, а також середовище в якому відбувається процес утворення з'єднання. Тому для розуміння процесів утворення з'єднань в твердій фазі необхідно знати їх хімічний склад, структуру, вплив термічної обробки на фізики-механічні властивості в широкому інтервалі температур, фазові перетворення в металі та вплив основних чинників процесу зварювання (температура, тиск, час зварювання, швидкість зварювання, вид середовища) на властивості матеріалу.

Метою кредитного модуля «Фізико-механічні процеси формування нероз'ємних з'єднань матеріалів в твердій фазі» є надання аспірантам знань про основні способи зварювання в твердій фазі, їх характеристики, основні переваги та недоліки, сфери застосування, гіпотези утворення зварного з'єднання, критерії визначення параметрів зварювання металів в однорідному та різнорідному сполученні, їх вплив на структуру та механічні властивості з'єднань, основні технологічні прийоми зварювання. Вплив низько- та високо інтенсивної деформації на формування структури та дифузійні процеси при утворенні з'єднань.

Доктор філософії як фахівець повинен мати глибокі теоретичні знання і володіти відповідними навичками використання фундаментальних знань для їх застосування при

визначенні режимів зварювання відповідно до технічних вимог до виробів та одержанні якісних з'єднань з металів та сплавів.

Даний курс має велике значення для формування майбутнього доктор філософії, розширює технологічні можливості фахівця. Кредитний модуль пов'язаний з дисциплінами: «- «Методи дослідження фазового складу, структури та фізико-механічних властивостей» (4/I),

- «Властивості матеріалів в нерівноважному стані та методи їх отримання» (3/I),

- «Структура з'єднань матеріалів плавленням» (2/II),

- «Конструкційні сталі та їх здатність до зварювання» (3/II),

- «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).
- 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)
- Здатність проводити теоретичні й експериментальні дослідження, фізико-математичне, фізико-хімічне та комп'ютерне моделювання розроблюваних матеріалів та процесів з метою оптимізації їх властивостей (код ФК 8).
- 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 властивостей нових матеріалів(код УМ 10);
- генерувати нові ідеї для вирішення науково-дослідних проектів та дослідницько-конструкторських робіт (код УМ 12);
- Практично визначати умови необхідні для реалізації процесу з'єднання матеріалів в твердій фазі(код УМ 18).

**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.Зварювання в твердій фазі. Загальні положення.</i>					
<i>Тема 1.1. Класифікація способів</i>	7	2	2	-	3

1	2	3	4	5	6
<i>зварювання тиском</i>					
<i>Тема 1.2. Теоретичні основи зварювання матеріалів в твердій фазі.</i>	6	2	-	-	4
<i>Тема 1.3. Математичні методи оптимізації параметрів процесу зварювання.</i>	5	2	-	-	3
<i>Тема 1.4. Особливості конструкції установок для дифузійного зварювання.</i>	7	2	2	-	3
<i>Тема 1.5. Технологічні прийоми дифузійного зварювання.</i>	8	2	2	-	4
<i>Тема 1.6. Дослідження зони з'єднання зразків за допомогою методу мікроінденування.</i>	5	2	-	-	3
<b>Разом за розділом 1</b>	<b>38</b>	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>-</b>	<b>20</b>
<i>Розділ 2. Зварювання в твердій фазі з низькосиловим впливом.</i>					
<i>Тема 2.1. Дифузійне зварювання однорідних металів.</i>	10	4	-	-	6
<i>Тема 2.2. Дифузійне зварювання композиційних матеріалів.</i>	5	2	-	-	3
<i>Тема 2.3. Дифузійне зварювання інтерметалідних сплавів.</i>	5	2	-	-	3
<i>Тема 2.4. Особливості дифузійного зварювання різнорідних металів.</i>	10	4	-	-	6
<i>Тема 2.5. Піноматеріали. Загальні положення. Дифузійне зварювання піноалюмінію.</i>	5	2	-	-	3
<b>Разом за розділом 2</b>	<b>35</b>	<b>14</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>21</b>
<i>Розділ 3. Зварювання в твердій фазі з високосиловим впливом.</i>					
<i>Тема 3.1. Особливості ударного зварювання в вакуумі однорідних металів.</i>	7	2	2	-	3
<i>Тема 3.2. Особливості ударного зварювання в вакуумі різнорідних металів</i>	5	2			3
<i>Тема 3.3. Класифікація дефектів зварних з'єднань.</i>	5	2	-	-	3
<b>Разом за розділом 3</b>	<b>17</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>9</b>
<i>Екзамен</i>					<b>30</b>
<b>Всього годин</b>	<b>120</b>	<b>32</b>	<b>8</b>	<b>-</b>	<b>80</b>

#### 4. Лекційні заняття

№	Назва теми лекції та перелік основних питань
---	--

з/п	<i>(перелік дидактичних засобів, завдання на СРС з посиланням на літературу)</i>
1	<p><b>Класифікація способів зварювання тиском.</b>  Визначення терміну зварювання тиском. Різновиди класифікації способів зварювання тиском. Основні способи зварювання тиском. Схеми процесів зварювання. Основні параметри процесів зварювання, можливі технологічні варіанти, переваги та недоліки.  СРА: Холодне та пресове зварювання особливості процесів формування з'єднань.  Література, основна: [1-3]  Література допоміжна: -</p>
2	<p><b>Теоретичні основи зварювання матеріалів в твердій фазі.</b>  Визначення термінів: «дифузія», «самодифузія», «гетеро дифузія», «дифузійне зварювання». Особливості процесу дифузійного зварювання. Схема процесу. Параметри процесу та їх вплив на якість зварювання. Гіпотези утворення зварного з'єднання при ДЗ. Теорія трьохстадійності утворення зварного з'єднання. Кінетична схема формування фізичного контакту. Схема устрою оксидної плівки на поверхні металу. Внесок зсувних деформацій в утворення зварного з'єднання. Схема досліду Хренова та Конюшкова. Кінетична схема процесу дифузійного зварювання (Конюшкова).  СРА: Характер поведінки газів при нагріванні в вакуумі нікелю, міді, заліза, титану.  Література, основна: [1-6]  Література допоміжна: [1-3]</p>
3	<p><b>Математичні методи оптимізації параметрів процесу зварювання.</b>  Критерії вибору режиму зварювання. Математичні методи оптимізації параметрів процесу. Приклади використання розрахункових методів для зварювання в твердій фазі.  СРА: Методика розрахунку телескопічного зєднання.  Література, основна: [7]  Література допоміжна: [4-7]</p>
4	<p><b>Особливості конструкції установок для дифузійного зварювання.</b>  Класифікація установок по граничному вакууму, по джерелу і способу нагрівання, по системам прикладення тиску. Вимоги до вакуумних систем установок. Матеріали, що застосовуються для виготовлення вузлів вакуумних установок. Основні системи установок: вакуумна, система охолодження, електрична, система нагрівання, система прикладення тиску, контролю параметрів зварювання. Класифікація систем відкачки вакууму. Основні типи установок.  СРА: Основні елементи системи охолодження.  Література, основна: [8. 3]  Література допоміжна: [1]</p>
5	<p><b>Технологічні прийоми дифузійного зварювання.</b>  Класифікація технологічних прийомів по різновидам зварювання. Технологічні можливості способу дифузійного зварювання. Проміжні прошарки. Їх функції та методи отримання. Особливості структури проміжних прошарків. Технологічні схеми ДЗ. Особливості поведінки прошарків суцільного та перфорованого перетинів при зварюванні. Особливості структури багаточислової, пористої та швидкозакристалізованої фольги.  СРА: Особливості процесу зварювання в над пластичному стані.  Література, основна: [9]  Література допоміжна: [8-12]</p>
6.	<p><b>Дослідження зони з'єднання зразків за допомогою методу мікроіндентування.</b>  Метод мікроіндентування, його основні положення. Прибор Мікрон-Гамма. Опис. Технічні характеристики. Індентор Берковича. Приклади використання методу мікроіндентування для визначення параметрів зони з'єднання.</p>

	<p>СРА: Основні форми інденторів, що використовуються при визначенні мікротвердості.</p> <p>Література, основна: [10]</p> <p>Література допоміжна: [13 - 15]</p>
7	<p><b>Дифузійне зварювання однорідних металів.</b></p> <p>Особливості процесу ДЗ, параметри процесу. Основні типи зварних з'єднань. Класифікація виробів по: матеріалам, геометрії, по формі з'єднання, по тепловій інерції. Зварювання алюмінію, титану, сталі та міді, та їх сплавів. Способи підготовки поверхні зразків при зварюванні. Приклади застосування ДЗ при зварюванні виробів з цих сплавів. Структура з'єднань та параметри зварювання.</p> <p>СРА: Зварювання в сольових розчинах.</p> <p>Література, основна: [5, 11 – 15.16]</p> <p>Література допоміжна: [16 – 17,19]</p>
8	<p><b>Дифузійне зварювання композиційних матеріалів.</b></p> <p>Визначення терміну «композиційний матеріал». Класифікація композиційних матеріалів (КМ) по формі наповнювача. Властивості КМ в порівнянні з базовим матеріалом, сфери використання. Дисперсно-зміцнені КМ, приклади, структура, властивості. Технологічні схеми з'єднання дисперсно-зміцнені КМ способом дифузійного зварювання. Модель Bushby утворення зварного з'єднання з ДУКМ. Різновиди технологічних прийомів зварювання ДУКМ. Використання різних видів прошарків при зварювання ДУКМ, параметри зварювання, структура та механічні властивості з'єднань. Шаруваті КМ. Класифікація. Структура. Основні методи отримання. Вуглець - вуглецевих КМ. Структура. Приклади отримання зварних з'єднань.</p> <p>СРА: Застосування вуглеводів для зварювання в твердій фазі сталі.</p> <p>Література, основна: [17, 18]</p> <p>Література допоміжна: [20-24]</p>
9	<p><b>Дифузійне зварювання інтерметалідних сплавів.</b></p> <p>Визначення терміну «інтерметалід». Властивості інтерметалідних сплавів. Інтерметаліди системи Ti-Al. Структура сплавів. Дифузійне зварювання алюмінідів титану. Параметри процесу, технологічні прийоми зварювання, властивості з'єднань. Вплив температури нагрівання на відновлення оксидної плівки на поверхні зразків. Приклади отримання зварних з'єднань. Вплив технологічних параметрів зварювання на структуру на механічні властивості з'єднань. Наношаруваті прошарки. Їх вплив на формування структури з'єднань. Модель утворення зварного з'єднання.</p> <p>СРА: Вплив водню на зварюваність інтерметалідних сплавів на основі титану.</p> <p>Література, основна: [19]</p> <p>Література допоміжна: [25-27]</p>
10	<p><b>Особливості дифузійного зварювання різнорідних металів.</b></p> <p>Модель утворення зварного з'єднання при зростанні в зоні з'єднання інтерметалідного прошарку. Формула для визначення товщини шару інтерметаліду. Вплив товщини інтерметалідного прошарку на механічні властивості з'єднань. Критерії вибору температури при зварюванні різнорідних металів. Технологічні прийоми, що використовуються при зварюванні різнорідних металів. Функції, що виконують прошарки. Структурний стан прошарків. Особливості зварювання способом ДЗ: титану з алюмінієм, хрому з міддю, титану з міддю, заліза з міддю, титану зі сталлю, алюмініду титану з жароміцним сплавом ніхрому, зварювання вуглець-вуглецевого композиційного матеріалу з сплавом титану.</p> <p>СРА: Вплив товщини інтеметалідного прошарку на міцність зварного з'єднання.</p> <p>Література, основна: [6, 20.21]</p> <p>Література допоміжна: [28-34]</p>



11	<p><b>Піноматеріали. Особливості їх структури. Зварювання піно алюмінію.</b>  Визначення терміну «Піноматеріали». Класифікація пористих матеріалів. Приклади структури та застосування піно матеріалів з нікелю, міді, ніхрому, алюмінію. Технологія отримання піно алюмінію. Приклади зварювання піно алюмінію.  СРА: Методи визначення міцності з'єднань з піно матеріалів.  Література, основна: [22-23]  Література допоміжна: [35-38]</p>
12	<p><b>Особливості ударного зварювання в вакуумі однорідних металів.</b>  Ударне зварювання круглоланкових ланцюгів з високоміцних сплавів титану. Критерії вибору температури зварювання. Вплив режиму зварювання на механічні властивості з'єднань. Формування мікроструктури зварних з'єднань. Вплив режиму зварювання на дифузію елементів в стику. Вибір оптимального режиму зварювання.  СРА: Відмінності в формоутворенні з'єднань при ударному та дифузійному зварюванні  Література, основна: [6, 24-25]  Література допоміжна: [39-40]</p>
13	<p><b>Особливості ударного зварювання в вакуумі різнорідних металів.</b>  Особливості отримання з'єднань алюмінію з міддю, алюмінію з титаном, міді з титаном, міді з гафнієм та цирконієм, Сфери застосування. Проблеми утворення зварного з'єднання. Параметри зварювання структура та властивості отриманих з'єднань. Вплив параметрів зварювання: температури та часу витримки на товщину інтерметалідного прошарку в зоні з'єднання.  СРА: Можливості процесу УЗВ при зварюванні металів з різною пластичністю  Література, основна: [6, 15, 21].  Література допоміжна: [41-45].</p>
14	<p><b>Класифікація дефектів зварних з'єднань.</b>  Класифікація дефектів. Не провар причині утворення, методи діагностики. Наскрізні тріщини, причині утворення, методи діагностики. Злипання, причині утворення, методи діагностики. Зміщення причині утворення, методи діагностики. Зміна структури металу, причині утворення, методи діагностики. Оплавлення, причині утворення, методи діагностики. Значна деформація виробів, причині утворення, методи діагностики.  СРА: Основні принципи отримання бездефектних з'єднань.  Література, основна: [4, 6, 11]  Література допоміжна: [46]</p>

## 5. Практичні заняття<sup>1</sup>

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

№ з/п	Назва теми заняття
1	<p>Практичне заняття №1. Дифузійне зварювання однорідних металів (2 години).  Ознайомлення з конструкційними особливостями та основними вузлами установки дифузійного зварювання (П-115). Техніка безпеки при роботі на установці.  Ознайомлення з експонатами зварних зразків. Демонстрація процесу дифузійного зварювання стикових зразків. Методика підготовки зразків, та проведення робіт по зварюванню.  СРА: основні системи установки дифузійного зварювання.</p>

<sup>1</sup> За наявності ПЗ

2	Практичне заняття №2. Дифузійне зварювання різнорідних металів (2 години). Використання прошарків при зварюванні різнорідних металів. Методика підготовки прошарків до зварювання. Отримання з'єднань з різнорідних металів. СРА: основні види прошарків, що використовуються при дифузійному зварюванні.
3	Практичне заняття №3. Ударне зварювання однорідних металів (2 години). Ознайомлення з конструкційними особливостями та основними вузлами установки ударного зварювання в вакуумі (УЗ84). Техніка безпеки при роботі на установці. Методика підготовки зразків, та проведення робіт по зварюванню. Ознайомлення з експозицією зварних з'єднань. СРА: Зварювання в формуючих матрицях, його особливості.
4	Практичне заняття №4. Ударне зварювання різнорідних металів (2 години). Особливості процесу отримання УЗВ різнорідних металів. СРА: Електропроменеві гармати, їх конструктивні особливості.

## 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 «Фізико-механічні процеси формування нероз'ємних з'єднань матеріалів в твердій фазі» відведено 80 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, чотирьох практичних занять, та на підготовку до іспиту.

## 9. Контрольні роботи<sup>5</sup>

Підсумковий контроль результатів навчання проводиться у формі екзамену.

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

з кредитного модуля (дисципліни): «Фізико-механічні процеси формування нероз'ємних з'єднань матеріалів в твердій фазі», ОНП 1/II  
для спеціальності: 132 Матеріалознавство

<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

<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.

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	4	120	32	8	-	80	-	-	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;
2. відповідь при проведенні екзамену.

#### Система рейтингових (вагових) балів та критерії оцінювання

1. Робота на практичних заняттях

**Ваговий бал – 1.** Максимальна кількість балів на всіх практичних заняттях дорівнює  $10 \times 4 = 40$  балів.

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 іспиті аспіранти виконують письмову контрольну роботу. Кожне завдання містить три питання. Перелік питань наведено у робочій програмі кредитного модуля. 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.
- Бали, отримані за екзаменаційну контрольну роботу підсумовуються:

$$R_E = 3 * 20 = 60 \text{ балів}$$

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
$R_C < 7$	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 розділів. Особливу увагу слід приділяти не тільки засвоєнню конкретних теоретичних положень, а й практичному їх використанні. При складанні екзамену аспіранти на основі одержаних ними знань повинні показати знання з теорії процесу утворення зварного з'єднання, розуміння факторів, що впливають на формування зварного з'єднання, знання основних систем установок зварювання металів та сплавів в твердій фазі

## 12. Рекомендована література

### 12.1. Базова

1. Э.С. Каракозов Соединение металлов в твердой фазе. М. Металлургия, 1976, 262 с.
2. Э.С. Каракозов Соединение металлов давлением. М. Машиностроение, 1986, 275 с.
3. Конюшков Г.В., Мусин Р.А. Специальные виды сварки давлением Учебное пособие. АйПиЭр Медиа, 2009., 631 с.
4. Казаков Н.Ф. Диффузионная сварка материалов. М., Металлургия. 1976, 360 с.
5. Н.Ф. Казаков. Диффузионная сварка материалов М. Машиностроение, 1976, 311 с.
6. Конюшков Г.В., Копылов Ю.Н. Диффузионная сварка в электронике / М.: Энергия. - 1974. – 167 с.
7. Шинк Х. Теория инженерного эксперимента. М. Мир., 1972, 381С.
8. Казаков Н.Ф. Жуков В.В. Оборудование для диффузионной сварки. Сборник №7. М., «Полиграфист», 1973, 237 с.

9. Кочергин К.А. Сварка давлением / К.А. Кочергин // Ленинград: Машиностроение. - 1972. - 216 с.
10. Булычев С. И., Алехин В. П. Испытание материалов непрерывным вдавливанием индентора. — М.: Машиностроение, 1990. — 224 с.
11. В.А. Бачин, В.Ф. Квасницкий, Д.И. Котельников. Теория. Технология и оборудование диффузионной сварки. М. Машиностроение, 1991, 351с.
12. Лашко С.В. Пайка металлов. Москва: Машиностроение, 1988. 376 с.
13. Панин В.Ф., Гладков Ю.А. Конструкции с наполнителем: Справочник. Москва, Машиностроение, 1991. 272 с.
14. Металлургия и технология сварки титана и его сплавов. Под ред. В.Н. Замкова, К. Наукова думка, 1986, 239 с.
15. Гуревич С.М. Справочник по сварке цветных металлов. Киев. Наукова думка, 1990. – 511 с.
16. П.И. Полухин, Г.Я. Гун, А.М. Галкин Соппротивление пластической деформации металлов и сплавов. Справочник. М. Metallurgy. 1976, 489 с.
17. Тялина Л.Н., Минаев А.М., Пручкин В.А. (2011) Новые композиционные материалы: учебное пособие. Тамбов. ГОУ ВПО ТГТУ.
18. Ковтунов А.И., Мямин С.В., Семистенова Т.В. (2017) Слоистые композиционные материалы: электронное учебное пособие. Тольятти. ТГУ.
19. Sonia Simoes, Filomena Viana, Manuel F. Viera Joining technology of  $\gamma$ -TiAl alloys/ 2017, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) 154 h/
20. Барабаш О.М., Коваль Ю.Н. Структура и свойства металлов и сплавов. Справочник. Кристаллическая структура металлов и сплавов. Киев, Наукова думка, 1986. - 598 с.
21. К.Е. Чарухина, С.А. Голованенко, В.Е. Мастеров, Н.Ф. Козаков. Биметаллические соединения – М.: Metallurgy, 1970. – 254 с.
22. А.Д. Жуков Высокопористые материалы: структура и тепломассоперенос. МГСУ Техническая литература. 2014.
23. С.В. Белов, П.А. Витязь, В.К. Шелег Пористые проницаемые материалы. Metallurgy, 1987.
24. Д.С. Герцрикен, В.Ф. Мазанко, В.М. Фальченко импульсная обработка и массоперенос в металлах при низких температурах. Киев, Наукова думка, 1991, 205 с.
25. Д.В. Миронов, В.Ф. Мазанко, Д.С. Герцрикен. Массоперенос в металлах при действии магнитных полей и импульсных деформаций, 2011. 275 с.

## 12.2. Допоміжна

1. Казаков Н.Ф. Диффузионная сварка материалов. Справочник. М. Машиностроение, 1981.
2. Б.С. Касаткин, Г.Н. Кораб. Формирование соединений при сварке без расплавления // Автоматическая сварка. - 1967. - №4. - С.33-36.
3. Хренов К.К. Холодная сварка металлов сдвигом.
4. Махненко В.М., Харченко Г.К., Великоиваненко Е.А., Игнатенко А.И., Фальченко Ю.В., Мазанко В.Ф. Ударная сварка в вакууме нахлесточных соединений с использованием формирующих устройств // Автоматическая сварка N1, 1996 г. с.18...20.
5. Фальченко Ю.В., Игнатенко А.И., Харченко Г.К., Чаюн А.Г. Ударная сварка в вакууме высокопрочных сплавов титана. // Автоматическая сварка N5, 1996 г.- с.17...20.
6. Харченко Г.К., Игнатенко А.И., Фальченко Ю.В., Чаюн А.Г. Ударная сварка в вакууме изделий авиационной промышленности. // Технологические системы N2, 1999 г. - с. 10...12.

7. В.С. Грошев, А.П. Шишкова, Н.Ф. Казаков, А.И. Антоненко Разработка технологии диффузионной сварки в вакууме пустотелого клапана. // В кн. Диффузионное соединение в вакууме Сборник №6, 1973, Сборник трудов 7 Всесоюзной научно-технической конференции
8. Баглюк Г.А. Сравнение энергосиловых параметров горячей штамповки пористых заготовок при различных схемах деформации // Порошковая металлургия. – 1998. - №9/10. - с. 12 - 15.
9. В.А. Мастеров, П.И. Полухин, Л.П. Скороход Исследование удельных сил давления и трения при пластическом сжатии металла // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 1966. - №9. - С. 73 - 78.
10. Р.А. Мусин Я.В. Лямин, И.Н. Бузмаков Интенсификация пластической деформации прокладок при диффузионной сварке // Автоматическая сварка. 1991. №8. - С.26-29.
11. А.В. Сергеев В.М. Чудин, Е.С. Сыропаева Диффузионная сварка алюминиевых сплавов в состоянии сверхпластичности // Автоматическая сварка. - 1991. - №7. - С.40-43.
12. Андриевский Р.А. Прочность наноструктур / Р.А. Андриевский. А.М. Глезер // Успехи физических наук. – 2009. - том 179. - №4. - С. 337 - 358.
13. *W.C. Oliver, G.M. Pharr* «Measurement of hardness and elastic modulus by instrumented indentation: Advances in understanding and refinements to methodology» // *J. Mater. Res.*, Vol. 19, No. 1, Jan 2004.
14. Игнатович С. Р. и др. Определение микромеханических характеристик поверхности материалов с использованием наноиндентометра «Микрон-гамма» // Вестник Харьковского национального авт.-дор. ун-та. 2008. Т. 42. С. 86-90.
15. С. А. Фирстов, В. Ф. Горбань, Э. П. Печковский, Н. А. Мамека. Связь прочностных характеристик материалов с показателями автоматического индентирования // Материаловедение. — 2007. — № 11. — С. 26–31.
16. . А.Р. Луц, А.А. Суслина Алюминий и его сплавы, Самара, СГТУ, 2013, 81с.
17. Paik J.K., Thayamballi A.K., Kim G.S. The strength characteristics of aluminum honeycomb sandwich panels. // *Thin-Walled Structures*. 1999. Vol. 35. P. 205–231.
18. Сливинский В.И., Ткаченко Г.В., Сливинский М.В. Эффективность применения сотовых конструкций в летательных аппаратах. // Вестник Сибирского аэрокосмического университета. 2005. №4. С. 169–173.
19. ГОСТ 859-78 Медь и ее сплавы.
20. Nailiang Yu, Cheng Lu, A. Kiet Tieu, Huijun Li, et al. (2016) Annealing effect on microstructure and mechanical properties of Al/Ti/Al laminate sheets. // *Materials Science & Engineering A*. 13. 195–204.
21. Gajanan P. Chaudhari, Viola Acoff (2009) Cold roll bonding of multi-layered bi-metal laminate composites. // *Composites Science and Technology*. 10. 1667–1675.
22. Lazurenko D.V., Bataev I.A., Mali V.I., Bataev A.A., et al. (2016) Explosively welded multilayer Ti-Al composites: Structure and transformation during heat treatment // *Materials & Design*. 102. 122–130.
23. Bushby R.S. Joining of particulate silicon carbide reinforced 2124 aluminium alloy by diffusion bonding / R.S. Bushby, V.D.Scott // *Materials Science and technology*. – 1995. - vol.11. - No.8. – p. 753 - 758.
24. Niu J.T. Study on diffusion welding of aluminium matrix composite / J.T. Niu, L.M. Liu, J.P. Zhai, J.Yu, X.M. Zhang // *Acta Metallurgica sinica*.– 2000.–Vol.13. - №1. – P.12 - 17.
25. Ю.В. Фальченко, Л.В. Петрушинец, В.Е. Федорчук Влияние температуры нагрева в вакууме на восстановление оксидной пленки на поверхности интерметаллидного сплава  $\gamma$ -TiAl // Автоматическая сварка. – 2017. – №4. – С. 43 – 47.
26. А.И. Устинов, Ю.В. Фальченко, А.Я. Ищенко, Т.В. Мельниченко, А.Н. Муравейник Получение неразъемных соединений сплавов на основе  $\gamma$ -TiAl с использованием

- нанослойной прослойки Ti/Al способом диффузионной сварки в вакууме // Автоматическая сварка. - 2009. - №1. - С. 17 – 21.
27. А.И. Устинов, Ю.В. Фальченко, Т.В. Мельниченко, Г.К. Харченко, Л.В. Петрушинец, Е.А. Шишкин. Многослойные фольги Ti/Al: Способы получения, свойства и применение при сварке давлением // Современная электрометаллургия – 2012. - №1. – С.30-37.
28. Г.К. Харченко Вопросы диффузионной сварки разнородных металлов. // Автоматическая сварка №4, 1969, С. 29-32.
29. Ковалев В.В., Михеев Р.С., Коберник Н.В. Особенности получения стале-алюминиевых соединений методами сварки плавлением // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2016. № 4. С. 93–112.
30. Е.В. Половецкий, Л.М. Капитанчук, О.А. Новомлинец, Влияние толщины промежуточной прослойки на структуру и свойства сварных соединений сплава алюминия АМг6 со сплавом титана ВТ6 способом диффузионной сварки в вакууме // Вісник Чернігівського державного технологічного університету, 2013, №1, С.131-138.
31. Новомлинець О.А., Фальченко Ю.В., Харченко Г.К., Хоменко М.М. Особливості формування з'єднань під час зварювання хрому з міддю. // Вісник ЧДТУ, 2002 р., N15, С. 101...107.
32. Николаенко Ю.Е., Харченко Г.К. Фальченко Ю.В. Сварка в твердой фазе титана с медью в технологии изготовления тепловых труб. // Технологические системы N2, 2003 г., С.24...28.
33. Фальченко Ю.В., Григоренко С.Г, Федорчук В.Є., Руденко М.М. Виготовлення перехідників нержавіюча сталь-алюміній зварюванням тиском у вакуумі. // Вісник ЧДТУ. Серія технічні науки. - 2011. - № 53. – С. 86 – 89.
34. Харченко Г.К. Дифузійне зварювання у вакуумі інтерметалідного сплаву  $\gamma$ -TiAl із сплавом титану ВТ8 / Г.К. Харченко, Ю.В. Фальченко, Л.В. Петрушинец // Вісник ЧДТУ. Серія технічні науки. - 2012. - №1(55). - С. 131 – 135.
35. V. C. Srivastava, K. L. Sahoo. Processing, Stabilization and application of metallic foams. Art of science. // Materials science Poland, Vol. 25, No. 3, 2007. P. 733-753.
36. Хохлов М. А, Ищенко Д.А. Технологические свойства сверхлегких пористых металлов (обзор). // Автоматическая сварка. – 2015. – №3-4. – С. 60-65.
37. Хохлов М.А. Особливості формування біметалевих з'єднань з пористих сплавів алюмінію та магнієвих сплавів.// дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, Київ, ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАНУ, 2018 р.
38. Пеноматериалы. Виды, свойства, применение, Пермь, ЭКАД,
39. Фальченко Ю.В., Игнатенко А.И., Харченко Г.К., Чаюн А.Г. Ударная сварка в вакууме высокопрочных сплавов титана. // Автоматическая сварка N5, 1996 г.- с.17...20.
40. Харченко Г.К., Игнатенко А.И., Фальченко Ю.В., Чаюн А.Г. Ударная сварка в вакууме изделий авиационной промышленности. // Технологические системы N2, 1999 г. - с. 10...12.
41. Ю.В. Фальченко Особенности ударной сварки в вакууме алюминия с медью. // Спеціальна металургія: Вчора. Сьогодні, Завтра. Збірник праць. Київ, КПІ, 2007, С.78-82.
42. Г.К. Харченко, О.О. Новомлинець, Ю.В. Фальченко, В.В. Арсенюк Зварювання тиском алюмінію з міддю. // Вісник ЧДТУ. Серія технічні науки. Чернігів. 2005, №22, С.81-90.
43. Николаенко Ю.Е. Харченко Г.К. Фальченко Ю.В., Новомлинець О.А, В.В. Арсенюк, Сварка давлением с нагревом в вакууме титана с медью в технологии изготовления тепловых труб. // Технологические системы N2 (22), 2004 г., С.56...59.

44. Е.В. Половецкий, Ю.В. Фальченко, О.С. Кушнарева, Т.О. Алексеенко. Особенности формирования структуры соединений Ti–Al при диффузионной сварке в вакууме через промежуточные алюминиевые прослойки // Збірник наукових праць національного університету кораблебудування. – 2008. – №4(421). – С. 73-80.
45. Е.В. Половецкий, Л.М. Капитанчук, О.А. Новомлинец Влияние толщины промежуточной прослойки на структуру и свойства сварных соединений сплава алюминия АМг6 со сплавом титана ВТ6 способом диффузионной сварки в вакууме // Вісник ЧДТУ. – 2013. – №1(63). – С.120-127.
46. Барабанова О.А., Полунин В.А., Салмин П.А. Диффузионная сварка: возможные дефекты сварных соединений, причины их возникновения и методы контроля. // Сварочное производство, 2017, №10, С.34-43.

Склав:

Зав. відділу ІЕЗ ім. Є.О. Патона

д.т.н.

Ю.В. Фальченко

Ухвалено на засіданні відділу

«Фізико-металургійних процесів зварювання легких металів та сплавів»

(повна назва відділу)

Протокол від «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р. № \_\_\_

Завідувач відділу ІЕЗ ім. Є.О. Патона

д.т.н.

Ю.В. Фальченко

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.