



Нанотехнології у зварюванні та споріднених процесах  
**Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)**

**Реквізити навчальної дисципліни**

Рівень вищої освіти	<i>Третій (освітньо-науковий)</i>
Галузь знань	13Механічна інженерія
Спеціальність	131-- <i>прикладна механіка</i>
Освітня програма	<i>Технології та інжиніринг у зварюванні</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>дистанційна/змішана</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>150</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>По результатах тестування</i>
Розклад занять	
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: д.т.н, професор Кузнецов Валерій Дмитрович, <a href="mailto:v.kuznetsov@kpi.ua">v.kuznetsov@kpi.ua</a> Практичні / Семінарські:- Лабораторні: -
Розміщення курсу	Платформа дистанційного навчання "Сікорський" (Moodle,) <a href="https://do.ipk.kpi.ua/enrol/index.php?id=3745">https://do.ipk.kpi.ua/enrol/index.php?id=3745</a>

**Програма навчальної дисципліни**

**1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання**

Майбутньому фахівцю варто вчити саме цю дисципліну, оскільки нанотехнологія при зварюванні та наплавленні, як сукупність новітніх методів і прийомів, забезпечує можливість контрольованим чином створювати і модифікувати об'єкти, що включають компоненти з розмірами менше 100 нм, і в результаті цього отримувати принципово нові якості зварних з'єднань та наплавлених шарів.

**Метою дисципліни** є надання студентам/аспірантам поширених знань щодо способів зварювання та наплавлення, закономірностям формування структурного та фазового складу зварних швів та наплавлених шарів в умовах кристалізації зварювальної ванни сумісно з нано оксидами та нано карбідами, особливостям технологій зварювання та наплавлення залежно від функціонального призначення та масо габаритних характеристик виробів, складу установок для зварювання та наплавлення, а також навичок практичного використання одержаних знань.

**В результаті вивчення дисципліни студент/аспірант повинен знати:**

- базові схеми введення наноконпонентів до зварювальної ванни;
- відповідно до схем введення наноконпонентів правила розрахунку їх масової частки;
- сутність, параметри і технологічні особливості основних способів зварювання та наплавлення;

- особливості утворення зварних швів та наплавлених шарів, теплові і металургійні процеси, фазові та структурні перетворення, які супроводжують процеси формування швів та валиків при наявності у зварювальній ванні нано компонентів;

- вимоги до хімічного складу, структури та властивостей зварних швів та наплавлених шарів залежно від функціонального призначення виробів;

- особливості технологій при наплавленні валиків з різними експлуатаційними властивостями;

- основний склад обладнання для зварювання та наплавлення;

#### **На основі вивчення дисципліни студент/аспірант повинен вміти:**

- залежно від масогабаритних характеристик виробу та вимог до експлуатації правильно обрати спосіб зварювання чи наплавлення;

- залежно від матеріалу та функціонального призначення виробів правильно обрати зварювальні матеріали чи матеріали для наплавлення;

- залежно від умов експлуатації виробу та виду зношування правильно призначити склад наплавленого металу;

- залежно від способів зварювання та наплавлення правильно обрати технологічні параметри процесів;

- залежно від експлуатаційних вимог до конструкції та рівня підвищення механічних властивостей зварного з'єднання правильно обрати тип нанооксиду чи нанокарбїду, їх масовий відсоток та раціональну схему їх введення до зварювальної ванни;

- залежно від масогабаритних характеристик виробу, способу наплавлення і вимог до властивостей поверхневого шару правильно обрати схему введення нанокомпонентів до зварювальної ванни та їх масовий відсоток;

- розрахувати масову частку нанокомпонентів для обраної схеми їх введення до зварювальної ванни;

- обрати склад обладнання для зварювання та наплавлення;

### **1. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)**

*Перелік попередніх навчальних курсів, які необхідні фахівцю для успішного засвоєння дисципліни:*  
Теорія процесів зварювання; Здатність до зварювання конструкційних матеріалів; Зварювання високоміцних сталей; Матеріалознавство та термічна обробка матеріалів; Технології зварювання та споріднених процесів; Технологія зварювання плавленням; Обладнання для зварювання та споріднених процесів; Процеси і устаткування зварювання плавленням; Зварні конструкції; Методи ефективної презентації результатів наукових досліджень;

### **2. Зміст навчальної дисципліни**

*Надається перелік розділів і тем всієї дисципліни.*

#### **РОЗДІЛ 1. ДИСПЕРСОЇДНІ ВКЛЮЧЕННЯ У РІДКИХ ТА ТВЕРДИХ РОЗЧИНАХ НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ**

Тема 1.1. Зв'язок між структурою та властивостями низьколегованих сталей

Тема 1.2. Наноутворення у рідких та твердих розчинах

Тема 1.3. Уявлення про здатність включень до утворення зародків нової фази

Тема 1.4. Ймовірність утворення фериту залежно від складу та розмірів включень

Тема 1.5. Досвід застосування нанотехнологій у зварюванні

## РОЗДІЛ 2. ВПЛИВ ІНОКУЛЯНТІВ НА СТРУКТУРУ І ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛУ ШВІВ НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ

Тема 2.1 Методи інокулювання дисперсоїдних включень до зварювальної ванни

Тема 2.2 Фізико-хімічні аспекти взаємодії дисперсоїдів зі структурними складовими металу

Тема 2.3 Умови існування нанорозмірних включень у рідкому металі

Тема 2.4 Особливості поведінки дисперсоїдних включень в твердіючому розплаві

Тема 2.5 Особливості структурних змін і властивостей металу зварних швів при введенні інокулянтів до зварювальної ванни

Тема 2.6 Особливості морфології неметалевих включень в металі інокульованих швів

Тема 2.7 Вплив дисперсоїдних включень на утворення первинної структури зварних швів

Тема 2.8 Вплив дисперсоїдних включень на розвиток процесів перекристалізації при формуванні мікроструктури низьколегованих сталей

## РОЗДІЛ 3. ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ МЕТАЛУ ШВІВ ПРИ ВВЕДЕННІ У ЗВАРЮВАЛЬНУ ВАННУ НАНОПОРОШКІВ ОКСИДІВ

Тема 3.1 Методика експериментальних досліджень з введення нанопорошків у зварювальну ванну

Тема 3.2 Вплив наноксидів алюмінію на структуру при зварюванні низьколегованої сталі категорії міцності до 490 Мпа

Тема 3.3 Вплив комбінованого нанопорошку з оксидів алюмінію, цирконію, ітрію при зварюванні сталі категорії міцності до 490 Мпа

Тема 3.4. Вплив наноксидів титану на розподіл, склад та вміст неметалевих включень у металі шва при зварюванні низьколегованої сталі категорії міцності до 650 Мпа

Тема 3.5 Вплив наноксидів алюмінію на розподіл, склад та вміст неметалевих включень у металі шва при зварюванні низьколегованої сталі категорії міцності до 650 Мпа

Тема 3.6 Вплив наноксидів на структуру при зварюванні низьколегованої сталі категорії міцності до 650 Мпа

Тема 3.7 Особливості розподілення та складу неметалевих включень у металі шва

Тема 3.8 Закономірності змін вмісту неметалевих включень і структуроутворення у металі шва від об'ємної частки порошків нано оксидів

## РОЗДІЛ 4. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РЕГЛАМЕНТ НА ЗВАРЮВАННЯ НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ З ВВЕДЕННЯМ ДО ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ВАННИ ІНОКУЛЯНТІВ.

Тема 4.1. Зварювальні матеріали

Тема 4.2. Результати випробувань порошкового дроту в лабораторних умовах

Тема 4.3. Дослідно-промислово перевірка зварювальних матеріалів

Тема 4.4

Технологічний регламент щодо формування зварних швів низьколегованих високоміцних сталей з введенням до зварювальної ванни інокулянтів

5

## РОЗДІЛ 5. ЗНОСОСТІЙКІСТЬ НАПЛАВЛЕНОГО МЕТАЛУ ПРИ ВВЕДЕННІ ДО ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ВАННИ НАНОПОРОШКІВ.

Тема 1. Базові схеми введення нанопорошків до зварювальної ванни при наплавленні.

Тема2. Зносостійкість низьколегованого наплавленого металу модифікованого  
нанооксидами

Тема3. Зносостійкість середньолегованого наплавленого металу модифікованого  
нанооксидами

Тема4. Зносостійкість високолегованого наплавленого металу модифікованого  
нанооксидами

### 3. Навчальні матеріали та ресурси

- 3.1 Головка В.В., Кузнецов В.Д., Фомичов С. К., Лобода П.І.-Нанотехнології у зварюванні низьколегованих високоміцних сталей, Монографія – Київ, Вид. «Політехніка», 2016,-240с.
- 3.2 Рагуля А.В., Скороход В.В. Консолідовані наноструктурні матеріали. – Київ: Наук. думка, 2007. – 349 с.
- 3.3 Влияние нанофольги системы Ni-NbC на структуру швов жаропрочных сплавов, выполненных электронно-лучевой сваркой / К. А. Ющенко, А. И. Устинов, Б. А. Задерий и др. // – Автоматическая сварка. – № 8. – 2011. – С.5-11.
- 3.4 Патон Б. Е., Ищенко А. Я., Устинов А. И. Применение нанотехнологии неразъемного соединения перспективных легких металлических материалов для аэрокосмической техники // Там же. – 2008. – № 12. – С. 5-12.
- 3.5. Кузнецов В.Д., Степанов Д.В., Структура и свойства металла шва, модифицированного нанооксидами/Автомат. сварка, №12, 2015, 15-18 с.
- 3.6 Kuznetsov V.D, Shapovalov A. P. Effekt of Nano-oxides on the Structure and Properties of Low-alloy Steel Weld Metal/ No 5/2015/Biuletyn Instytutu Spawalnictwa, Poland; Мова публікації: західноєвропейська, Наукометричні БД: Skopus, Web of Science
- 3.7 Головка В.В., Походня И.К. Влияние металлических включений на формирование структуры металлшвов высокопрочных низколегированных сталей // Автомат. сварка. – 2013. – № 6. – С. 3–11.
- 3.8 Головка В.В., Степанюк С.Н., Ермоленко Д.Ю. Технология сварки высокопрочных низколегированных сталей с введением титаносодержащих инкуляторов // Наноразмерные системы и материалы в Украине / Ред. А.Г. Наумовец (глав. ред.); НАН Украины. – Киев: Академперіодика, 2014. – С. 395–399.
- 3.9 Головка В.В., Степанюк С.Н., Ермоленко Д.Ю. Влияние титаносодержащих инкулянтов на структуру и свойства металлшвов высокопрочных низколегированных сталей // Автомат. сварка. – 2015. – № 2. – С. 16–20.
- 3.10 Вплив модифікування наночастинками оксидів на структуроутворення зварних швів низьколегованих сталей / В.Д. Кузнецов, І.В. Смирнов, Д.В. Степанов, К.П. Шаповалов // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». Луцьк. – 2013. – Випуск № 41 Ч. 2. – С. 61-68.
- 3.11 В.Д. Кузнецов, І.В. Смирнов, К.П. Шаповалов, Вплив нанооксидів алюмінію на розподілення неметалевих включень і структуру метал шва низьколегованих сталей // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2014. – №1.– С.102-106.
- 3.12 В.Д. Кузнецов, І.В. Смирнов, К.П. Шаповалов, Вплив нанокосидів титану на розподілення неметалевих включень і структуру метал шва низьколегованих сталей //

- 3.13 V.D. Kuznetsov and D.V. Stepanov *Comparative evaluation of wear resistance surfacing with feeding of nanooxides and nanocarbides to weld pool*. ISSN 2521-1943. Mechanics and Advanced Technologies #1 (88), 2020 ,149-155 pp, Index Copernicus, Google Scholar, PИЦ, Open Academic Journals Index (OAJI)WorldCat, BASE, EBSCO. Мова публікації: західноєвропейська
- 3.14 Kuznetsov V.D, Stepanov D.V. Вплив наноксиду кремнію та вуглевмісного матеріалу на зносостійкість наплавленого металу, Проблеми тертя та зношування, №3 (68), 2015. с.31-38; [e-LIBRARY, EBSCO, GoogleScholar, WorldCat] [Фахове видання] Мова публікації: українська;
- 3.15 Кузнецов В.Д., Степанов Д.В., Износостойкая наплавка с вводом в сварочную ванну нанопорошков/Автомат. сварка, №5, 2015, 53-58 с.
- 3.16 В.Д. Кузнецов, Д.В. Степанов, В.А.Маковей, Я.П. Черняк, Износостойкость наплавленного металла типа углеродистых и хромомарганцевых сталей в условиях сухого трения скольжения металла по металлу, Автоматическая сварка, №10, 2015, 44-47 с.
- 3.17 V. D. Kuznetsov, D. V. Stepanov, V. V. Peremitko, O. L. Kosynska, A. I. Panfilov, and I. V. Kolomojets, Effect of Method of Silicon Dioxide Nanopowder Introduction into Weld Pool on Wear Resistance and Structure of Low-Alloyed Weld Metal, Metallofiz. Noveishie Tekhnol., 42, No. 8: 1107–1118 (2020) (in Ukrainian), DOI: 10.15407/mfint.42.08.1107.

Базовими для вивчення дисципліни є джерела 4.1; 4.7; 4.10; 4.13; 4.15, решта – факультативні.

Зазначені джерела є у вільному доступі у бібліотеці КРІ та інтернеті.

Наведені джерела повністю відображають зміст вказаних для вивчення тем.

## Навчальний контент

### 4. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

#### 4.1. РОЗПОДІЛ НАВЧАЛЬНОГО ЧАСУ ЗА ТЕМАМИ.

Найменування розділів, тем	Розподіл навчального часу				
	Всього	Лекц.	Прак.	Лаб.	СРС

1					
	2	3	4	5	6
Семестр 2					
<p>РОЗДІЛ 1. ДИСПЕРСОЇДНІ ВКЛЮЧЕННЯ У РІДКИХ ТА ТВЕРДИХ РОЗЧИНАХ НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ</p> <p>Тема 1.1.Зв'язок між структурою та властивостями низьколегованих сталей</p> <p>Тема 1.2. Наноутворення у рідких та твердих розчинах</p> <p>Тема 1.3. Уявлення про здатність включень до утворення зародків нової фази</p> <p>Тема 1.4. Ймовірність утворення фериту залежно від складу та розмірів включень</p> <p>Тема 1.5. Досвід застосування нанотехнологій у зварюванні</p>		2			3
		2			2
		2			2
		2			2
		2			4
<p>РОЗДІЛ 2. ВПЛИВ ІНОКУЛЯНТІВ НА СТРУКТУРУ І ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛУ ШВІВ НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ</p> <p>Тема 2.1 Методи інокулюваннядисперсоїдних включень до зварювальної ванни</p> <p>Тема 2.2 Фізико-хімічні аспекти взаємодії дисперсоїдів зі структурними складовими металу</p> <p>Тема 2.3 Умови існування нанорозмірних включень у рідкому металі</p> <p>Тема 2.4 Особливості поведінки дисперсоїдних включень в твердіючому розплаві</p> <p>Тема 2.5 Особливості структурних змін і властивостей металу зварних швів при введенні інокулянтів до зварювальної ванни</p> <p>Тема 2.6 Особливості морфології неметалевих включень в металі інокульованих швів</p> <p>Тема 2.7 Вплив дисперсоїдних включень на утворення первинної структури зварних швів</p> <p>Тема 2.8 Вплив дисперсоїдних включень на розвиток процесів перекристалізації при формуванні мікроструктури низьколегованих сталей</p>		2			3
		-			5
		-			5
		2			5
		2			3
		-			2
		2			4
		2			3
		2			2
<p>РОЗДІЛ 3. ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ МЕТАЛУ ШВІВ ПРИ ВВЕДЕННІ У ЗВАРЮВАЛЬНУ ВАННУ НАНОПОРОШКІВ ОКСИДІВ</p> <p>Тема 3.1 Методика експериментальних досліджень з введення нанопорошків у зварювальну ванну</p> <p>Тема 3.2 Вплив нанооксидів алюмінію на структуру при зварюванні низьколегованої сталі категорії міцності до 490 Мпа</p>		-			3
					3
		2			

Тема 3.3 Вплив комбінованого нанопорошку з оксидів алюмінію, цирконію, ітрію при зварюванні сталі категорії міцності до 490 Мпа	2				3
Тема 3.4. Вплив наноксидів титану на розподіл, склад та вміст неметалевих включень у металі шва при зварюванні низьколегованої сталі категорії міцності до 650 Мпа	2				3
Тема 3.5 Вплив наноксидів алюмінію на розподіл, склад та вміст неметалевих включень у металі шва при зварюванні низьколегованої сталі категорії міцності до 650 Мпа	2				3
Тема 3.6 Вплив наноксидів на структуру при зварюванні низьколегованої сталі категорії міцності до 650 Мпа	2				3
Тема 3.7 Особливості розподілення та складу неметалевих включень у металі шва	2				2
Тема 3.8 Закономірності змін вмісту неметалевих включень і структуроутворення у металі шва від об'ємної частки порошків нано оксидів	4				2
<b>РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО РЕГЛАМЕНТУ НА ЗВАРЮВАННЯ НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ З ВВЕДЕННЯМ ДО ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ВАННИ ІНОКУЛЯНТІВ.</b>					
Тема4.1. Розробказварювальнихматеріалів	2				2
Тема4.2. Проведеннявипробувань порошкового дроту в лабораторнихумовах	2				2
Тема 4.3. Дослідно-промисловаперевірказварювальнихматеріалів	2				2
Тема4.4 Технологічнийрегламентщодоформуваннязварнихшвів низьколегованихвисокоміцних сталей з введенням до зварювальноїванниінокулянтів	4				5
<b>РОЗДІЛ 5. ЗНОСОСТІЙКІСТЬ НАПЛАВЛЕНОГО МЕТАЛУ ПРИ ВВЕДЕННІ ДО ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ВАННИ НАНОПОРОШКІВ.</b>					
Тема1. Базові схеми введення нанопорошків до зварювальної ванни при наплавленні.	2				5
Тема2. Зносостійкість низьколегованого наплавленого металу модифікованого наноксидами	2				4
Тема3. Зносостійкість середньолегованого наплавленого металу модифікованого наноксидами	2				5
Тема4. Зносостійкість високолегованого наплавленого металу модифікованого наноксидами	2				5
<b>Всього</b>	<b>150</b>	<b>54</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>96</b>

## 5.2 ЛЕКЦІЇ.

### Семестр2

## РОЗДІЛ 1. ДИСПЕРСОЇДНІ ВКЛЮЧЕННЯ У РІДКИХ ТА ТВЕРДИХ РОЗЧИНАХ НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ

Тема 1.1. Зв'язок між структурою та властивостями низьколегованих сталей

**Лекція 1** Поняття та визначення. Класифікація структур низьколегованих високоміцних сталей. Механічні властивості і параметри структури сталей.

Дидактичний матеріал: слайди.

Основна література: [3.1], с. 5-18 ,

Завдання СРС: опрацювання лекції, підготовка та виконання тестових завдань в електронному ресурсі "Moodle" - 2 год.

Тема 1.2. Нанотворення у рідких та твердих розчинах

**Лекція 2** Структурно-масштабна організація залізовуглецевого розплаву. Типи фулеренових наночастинок. Вплив первинної кристалізації та термічної обробки на утворення фулеренів. Розподіл кількості фулеренів (а) та мікротвердості (в) по зонах зварних з'єднань.

Дидактичний матеріал: слайди.

Основна література: [3.1], с. 20-23 , [2], с. 30-423

Завдання СРС: опрацювання лекції, підготовка та виконання тестових завдань в електронному ресурсі "Moodle" - 2 год.

Тема 1.3. Уявлення про здатність включень до утворення зародків нової фази

**Лекція 3** Особливості поведінки включень, що визначають характер їх впливу на формування мікроструктури металу зварних швів. п'ять основних теорій: *невідповідність параметрів кристалевих ґраток включення і підкладки; збіднення твердого розчину по марганцю; термодформаційні напруження; Інертна підкладка;*

Дидактичний матеріал: слайди.

Основна література: [3.1], с. 24-28 ,

Завдання СРС: опрацювання лекції, підготовка та виконання тестових завдань в електронному ресурсі "Moodle" - 2 год.

Тема 1.4. Ймовірність утворення фериту залежно від складу та розмірів включень

**Лекція 4** Вплив радіуса частки на відношення енергетичного бар'єру гетерогенного зародження фериту на включеннях до бар'єру гомогенного зародження. Вплив розміру включень на імовірність зародження фериту. Закономірності розподілу всіх включень і включень, що слугують центрами зародження ГФ в металі швів низьколегованих сталей.

Дидактичний матеріал: слайди.

Основна література: [3.1], с. 29-34 ,

Завдання СРС: опрацювання лекції, підготовка та виконання тестових завдань в електронному ресурсі "Moodle" - 2 год.

Тема 1.5. Досвід застосування нанотехнологій у зварюванні

**Лекція 5** Мікроструктури металу зварних швів, виконаних на нікелю без наноструктурованої присадки і з застосуванням присадкової фольги Ni-6,7 мас. % NbСi Ni-20 мас. % NbС. Способи введення невеликої (до 0,2 мас.%) кількості нанорозмірних частинок карбідів вольфраму в метал, наплавлений з використанням електродугового і електрошлакового процесів. Неметалічні включення в металі, наплавленому електродом ОК 43.32 без нанопорошку і з порошком карбідів вольфраму в покритті. Структура шва після лазерного зварювання і з застосування мінокулятора TiCN+Cu.



Дидактичний матеріал: слайди.

Основна література: [3.1], с. 35-43 , статті : [4.4],: [4.6 – 4.9]

Завдання СРС: опрацювання лекції та додаткової літератури, підготовка та виконання тестових завдань в електронному ресурсі “Moodle” - 5 год.

## РОЗДІЛ 2. ВПЛИВ ІНОКУЛЯНТІВ НА СТРУКТУРУ І ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛУ ШВІВ НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ

Тема 2.1 Методи інокулювання дисперсоїдних включень до зварювальної ванни

**Лекція 6** Особливості введення через покриття електроду основного виду або осердя порошкового дроту;- введення через осердя порошкового дроту з перенесенням «холодними» краплями; введення до «гарячої» зони зварювальної ванни через шихту порошкового дроту;- введення до «холодної» зони зварювальної ванни через шихту порошкового дроту;- введення через зовнішній шар покриття електроду двошарової конструкції;- введення через пресовані вкладиші з нано включеннями до металу зварювальної ванни;- введення через агломерований флюс основного типу.

Дидактичний матеріал: слайди.

Основна література: [3.1], с. 44-46 , [4.17]

Завдання СРС: опрацювання лекції та додаткової літератури, підготовка та виконання тестових завдань в електронному ресурсі “Moodle” - 2 год.

Тема 2.2 Фізико-хімічні аспекти взаємодії дисперсоїдів зі структурними складовими металу  
Завдання СРС: самостійне засвоєння матеріалу [3.1], с. 47-55, 2год.

Тема 2.3 Умови існування нанорозмірних включень у рідкому металі

Завдання СРС: самостійне засвоєння матеріалу [3.1], с. 56-66, 2год.

Тема 2.4 Особливості поведінки дисперсоїдних включень в твердіючому розплаві

Завдання СРС: самостійне засвоєння матеріалу [3.1], с. 67-78, 2год.

Тема 2.5 Особливості структурних змін і властивостей металу зварних швів при введенні інокулянтів до зварювальної ванни

**Лекція 7** Схема отримання металу швів і вибору місця для проведення металографічних досліджень. Механічні властивості металу швів. результати аналізу об'ємної частки неметалевих включень в металі швів (V<sub>nv</sub>) і характеру їх розподілу за розмірами. Зразки типової мікроструктури, отримані при дослідженні методами оптичної та електронної металографії.

Дидактичний матеріал: слайди.

Основна література: [3.1], с. 79-86 , [4.17]

Завдання СРС: опрацювання лекції та додаткової літератури, підготовка та виконання тестових завдань в електронному ресурсі “Moodle” - 5 год.

Тема 2.6 Особливості морфології неметалевих включень в металі інокульованих швів

Завдання СРС: самостійне засвоєння матеріалу [3.1], с. 87-91, 2год.

Тема 2.7 Вплив дисперсоїдних включень на утворення первинної структури зварних швів

**Лекція 8** Схема, що ілюструє процеси зародження й перетворення фаз при охолодженні металу шва низьколегованої сталі. Вплив розміру аустенітного зерна на формування мікроструктури стали, що містить включення. Схема, що ілюструє механізм впливу неметалевих

включень на зростання дендритів первинної структури в металі швів. Результати визначення параметрів первинної структури в співставленні з механічними властивостями металу досліджених швів

Дидактичний матеріал: слайди.

Основна література: [3.1], с. 92-106

Завдання СРС: опрацювання лекції, підготовка та виконання тестових завдань в електронному ресурсі "Moodle" - 2 год.

Тема 2.8 Вплив дисперсоїдних включень на розвиток процесів перекристалізації при формуванні мікроструктури низьколегованих сталей

**Лекція 9** Хімічний склад та механічні властивості металу швів іннокульованих сполуками титану. Морфологія неметалевих включень розміром більше 0,8 мкм в металі швів іннокульованих FeTi та  $TiO_2$ . Розподіл елементів в неметалевому включенні і прилеглих зонах твердого розчину. Взаємозв'язок між розміром зерен первинної структури і складом вторинної мікроструктури металу швів, що містили титанвміщуючі іннокулянти.

Дидактичний матеріал: слайди.

Основна література: [3.1], с. 107-131

Завдання СРС: опрацювання лекції, підготовка та виконання тестових завдань в електронному ресурсі "Moodle" - 2 год.

### РОЗДІЛ 3. ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ МЕТАЛУ ШВІВ ПРИ ВВЕДЕННІ У ЗВАРЮВАЛЬНУ ВАННУ НАНОПОРОШКІВ ОКСИДІВ

Тема 3.1 Методика експериментальних досліджень з введення нанопорошків у зварювальну ванну

Завдання СРС: самостійне засвоєння матеріалу [3.1], с. 123-126; [3.13],[3.14],[3.17], 4 год.

Тема 3.2 Вплив нанооксидів алюмінію на структуру при зварюванні низьколегованої сталі категорії міцності до 490 Мпа

**Лекція 10** Мікроструктура металу шва з іннокулюванням нанопорошку  $Al_2O_3-0,5\%$ . Мікроструктура металу шва з іннокулюванням до зварювальної ванни нанопорошку  $Al_2O_3-4,5\%$ . Мікротвердість складових структури. Розподіл фазових складових в зварному шві за розміром. Розподіл фазових складових в зварному шві за «фактором форми».

Дидактичний матеріал: слайди.

Основна література: [3.1], с. 126-135

Завдання СРС: опрацювання лекції, підготовка та виконання тестових завдань в електронному ресурсі "Moodle" - 2 год.

Тема 3.3 Вплив комбінованого нанопорошку з оксидів алюмінію, цирконію, ітрію при зварюванні сталі категорії міцності до 490 Мпа

**Лекція 11** Комплексна лігатура з нанопорошків оксидів ( $56,5\%Al_2O_3-41,5\%ZrO_2-2\%YO_2$ ). Мікроструктура металу шва з іннокулюванням комбінованого нанопорошку ( $56,5\%Al_2O_3-41,5\%ZrO_2-2\%YO_2$ ) – 0,5%. Мікроструктура металу шва з іннокулюванням комбінованого нанопорошку ( $56,5\%Al_2O_3-41,5\%ZrO_2-2\%YO_2$ ) – 4,5%. Результати визначення границі міцності та твердості металу швів.

Дидактичний матеріал: слайди.

Основна література: [3.1], с. 136-140

Завдання СРС: опрацювання лекції, підготовка та виконання тестових завдань в електронному ресурсі "Moodle" - 2 год.

Тема 3.4. Вплив наноксидів титану на розподіл, склад та вміст неметалевих включень у металі шва при зварюванні низьколегованої сталі категорії міцності до 650 Мпа

**Лекція 12** Розподілення включень при зварюванні без нанодобавок. Потрійні діаграми складу неметалевих включень розміром до 0,3 мкм в металі шва без нанодобавок. Гістограма розподілення часток включень у металі зварного шва за показником діаметра рівноцінного кола у вихідному стані. Розподіл включень у металі шва(а) при введенні у зварювальну ванну наноксиду  $TiO_2$  - 0,5%. Гістограма розподілення часток включень у металі зварного шва за показником діаметра рівноцінного кола з наноксидом  $TiO_2$  – 0,5%. Потрійні діаграми складу неметалевих включень розміром до 0,3 мкм. в металі шва з наноксидом  $TiO_2$  - 0,5%. Потрійні діаграми складу неметалевих включень розміром 0,3 – 0,8 мкм. в металі шва з наноксидом  $TiO_2$  – 1,0%.

Дидактичний матеріал: слайди.

Основна література: [3.1], с. 141-150, статті: [3.3], [3.6],

Завдання СРС: опрацювання лекції, додаткових джерел, підготовка та виконання тестових завдань в електронному ресурсі “Moodle” - 4.

Тема 3.5 Вплив наноксидів алюмінію на розподіл, склад та вміст неметалевих включень у металі шва при зварюванні низьколегованої сталі категорії міцності до 650 Мпа

**Лекція 13** Розподілення включень у металі шва при введенні у зварювальну ванну наноксиду  $Al_2O_3$  – 0,5%. Гістограма розподілення часток включень у металі зварного шва за показником діаметра рівноцінного кола з наноксидом  $Al_2O_3$  – 0,5%. Потрійні діаграми складу неметалевих включень розміром до 0,3 мкм. в металі шва при інокулюванні наноксидом  $Al_2O_3$  – 0,5%. Потрійні діаграми складу неметалевих включень розміром до 0,3 мкм. в металі шва з наноксидом  $Al_2O_3$  – 1,0%. Гістограма розподілення часток включень у металі зварного шва за показником діаметра рівноцінного кола з наноксидом  $Al_2O_3$  – 1,0%

Дидактичний матеріал: слайди.

Основна література: [3.1], с. 151-157

Завдання СРС: опрацювання лекції, підготовка та виконання тестових завдань в електронному ресурсі “Moodle” - 2 год.

Тема 3.6 Вплив наноксидів на структуру при зварюванні низьколегованої сталі категорії міцності до 650 Мпа

**Лекція 14** Вміст окремих складових мікроструктури металу швів. Характерні структури металу шва без інокулювання наноксидів. Характерні структури металу шва з інокулюванням наноксиду  $TiO_2$  – 0,5 об.%. Характерні структури металу шва з інокулюванням наноксидів  $Al_2O_3$  – 0,5%. Зміни у складі та розмірах структурних складових.

Дидактичний матеріал: слайди.

Основна література: [3.1], с. 158-164, статті [3.8],[3.9],

Завдання СРС: опрацювання лекції та додаткової літератури, підготовка та виконання тестових завдань в електронному ресурсі “Moodle” - 4 год.

Тема 3.7 Особливості розподілення та складу неметалевих включень у металі шва

**Лекція 15** Розподілення включень за розмірами в металі шва без інокулювання. Вміст хімічних елементів в неметалевих включеннях металу шва без інокулювання. Потрійні діаграми вмісту елементів в неметалевих включеннях металу шва без інокулювання: система  $SiO_2-Al_2O_3-MnO$ ; система  $TiO_2-Al_2O_3-MnO$ . Розподілення включень за розмірами при інокулюванні у зварювальну ванну  $TiO_2$  – 0,5%. Потрійні діаграми хімічного складу неметалевих включень в металі шва з інокулюванням у зварювальну ванну  $TiO_2$  – 0,5%: система  $SiO_2-Al_2O_3-MnO$ ; система  $TiO_2-Al_2O_3-MnO$ . Спектри елементів при скануванні нововключення: вуглецю; сірки; марганцю; кремнію. Дидактичний матеріал: слайди.

Основна література: [3.1], с. 165-175, статті [3.10],

Завдання СРС: опрацювання лекції, підготовка та виконання тестових завдань в електронному ресурсі "Moodle" - 2 год.

Тема 3.8 Закономірності змін вмісту неметалевих включень і структуроутворення у металі шва від об'ємної частки порошків нано оксидів

**Лекція 16** Залежність об'ємної частки неметалевих включень від вмісту нанооксиду алюмінію в зварному шві. Співвідношення кількості неметалевих включень в залежності від розмірів і вмісту нанооксиду алюмінію: з розміром < 0,3 мкм; з розміром в діапазоні 0,3–0,8 мкм; з розміром > 0,8 мкм. Вплив кількості модифікатора із наночасток оксиду алюмінію на об'ємну долю неметалевих включень розміром < 0,3 мкм, 0,3–0,8 мкм та > 0,8 мкм в матеріалі шва. Особливості дифрактограм зварного шва з інокулюванням: 0,5 об.% нанопорошку  $Al_2O_3$ ; 2,5 об.% нанопорошку  $Al_2O_3$ ; 4,5 об.% нанопорошку  $Al_2O_3$ . Розмір областей когерентного розсіювання металевої фази (A) і ступінь деформації (%) кристалічної ґратки.

Дидактичний матеріал: слайди.

Основна література: [3.1], с. 176-183

Завдання СРС: опрацювання лекції, підготовка та виконання тестових завдань в електронному ресурсі "Moodle" - 2 год.

**Лекція 17** Температурний стан зварювальної ванни при плавленні і кристалізації для металу шва з вмістом нанооксидів. Теплофізичні характеристики металу швів. Характеристики процесів перетворення металу при охолодженні зварних швів. Схема, що ілюструє процеси зародження й перетворення фаз при охолодженні металу шва низьколегованої сталі з інокулюванням нанооксидами  $TiO_2$  і  $Al_2O_3$ ;

Основна література: [3.1], с. 184-192

Завдання СРС: опрацювання лекції, підготовка та виконання тестових завдань в електронному ресурсі "Moodle" - 2 год.

#### РОЗДІЛ 4. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РЕГЛАМЕНТ НА ЗВАРЮВАННЯ НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ З ВВЕДЕННЯМ ДО ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ВАННИ ІНОКУЛЯНТІВ.

Тема 4.1. Зварювальні матеріали

**Лекція 18** Марганець, кремній, хром, молібдентамідь – їх вплив на показники в'язкості та пластичності металу швів. Склад захисного газу для зварювання порошковим дротом, що містить інокулянти. Склад осердя порошкового дроту.

Основна література: [3.1], с. 193-196

Завдання СРС: опрацювання лекції, підготовка та виконання тестових завдань в електронному ресурсі "Moodle" - 2 год.

Тема 4.2. Проведення випробувань порошкового дроту в лабораторних умовах

Завдання СРС: самостійне засвоєння матеріалу [3.1], с. 197-199, 2 год.

Тема 4.3. Результати дослідно-промислової перевірки зварювальних матеріалів

**Лекція 19** Хімічний склад зразків наплавленого металу. Механічні властивості основного металу і металу зварних швів. Порівняльні випробування якості з'єднань при зварюванні вітчизняним електродним дротами марок Св-10ХН2ГСМФТЮ і Св-09Г2С, імпортом дротом марки BÖHLER NiCrMo 2,5 – IG та дротом АН185 з введенням до зварювальної ванни інокулянтів

Дидактичний матеріал: слайди.

Основна література: [3.1], с. 200-204

Завдання СРС: опрацювання лекції, підготовка та виконання тестових завдань в електронному ресурсі "Moodle" - 2 год.

#### Тема 4.4

Технологічний регламент щодо формування зварних швів низьколегованих високоміцних сталей з введенням до зварювальної ванни інокулянтів

**Лекція 20** Призначення. Вимоги до зварювання низьколегованих сталей. Вимоги до підготовки виробів під зварювання. Зварювальні матеріали. Рекомендовані режими зварювання

Основна література: [3.1], с. 210-204

Завдання СРС: опрацювання лекції, підготовка та виконання тестових завдань в електронному ресурсі "Moodle" - 2 год.

**Лекція 21** Зварювання в нижньому положенні. Рекомендований нахил електродного дроту при зварюванні в нижньому положенні. Рекомендоване положення електродного дроту при зварюванні Т-видних і нахлесткових з'єднань. Особливості зварювання швів, що розташовані на вертикальній площині. Рекомендовані маніпуляції електродного дроту при накладенні завершальних валиків при зварюванні горизонтального стикового з'єднання. Рекомендовані режими зварювання на вертикальній площині.

Дидактичний матеріал: слайди.

Основна література: [3.1], с. 211-214

Завдання СРС: опрацювання лекції, підготовка та виконання тестових завдань в електронному ресурсі "Moodle" - 2 год.

Лекція 22 Обладнання для зварювання. Технологічні рекомендації з проведення зварювальних робіт. Умови виконання зварювальних робіт. Контроль якості зварних з'єднань. Параметри зварних швів. Схема вимірювання твердості за Віккерсом в різних зонах зварного з'єднання. Можливі дефекти в швах і способи їх попередження. Можливі дефекти в швах і способи їх попередження

Основна література: [3.1], с. 215-225

Завдання СРС: опрацювання лекції, підготовка та виконання тестових завдань в електронному ресурсі "Moodle" - 2 год.

**РОЗДІЛ 5. ЗНОСОСТІЙКІСТЬ НАПЛАВЛЕНОГО МЕТАЛУ ПРИ ВВЕДЕННІ ДО ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ВАННИ НАНОПОРОШКІВ.**

Тема 1. Базові схеми введення нанопорошків до зварювальної ванни при наплавленні.

**Лекція 23** Введення наноконцентів з використанням парафінового стрижня. Техніка виготовлення парафінових стрижней. Введення наноконцентів з використанням спреї-технології. Техніка підготовки сумішей. Введення наноконцентів через флюс.

Основна література: статті [3.17],[3.13],[3.15],

Дидактичний матеріал: слайди.

Завдання СРС: опрацювання лекції та додаткових джерел, підготовка та виконання тестових завдань в електронному ресурсі "Moodle" - 5 год.

Тема 2. Зносостійкість низьколегованого наплавленого металу модифікованого наноксидами

**Лекція 24** Зносостійкість наплавленого металу дротом 09Г2С на Ст.3 при різних схемах введення наноконцентів до зварювальної ванни. Порівняльна оцінка зносостійкості при

застосуванні різних наноксидів і нанокарбідів. Зносостійкість в умовах сухого тертя та абразивного зношування.

Дидактичний матеріал: слайди.

Основна література: статті [4.17],[4.13],

Завдання СРС: опрацювання лекції та додаткових джерел, підготовка та виконання тестових завдань в електронному ресурсі "Moodle" - 4 год.

Тема3. Зносостійкість середньолегованого наплавленого металу модифікованого наноксидами

**Лекція 25** Зносостійкість наплавленого металу дротом 30ХГСА на Ст.09Г2С при різних схемах введення наноксидів до зварювальної ванни. Порівняльна оцінка зносостійкості при застосуванні різних наноксидів і нанокарбідів. Зносостійкість в умовах сухого тертя та абразивного зношування

Дидактичний матеріал: слайди.

Основна література статті [4.17], [4.14],[4.15],

Завдання СРС: опрацювання лекції, матеріалу статей, підготовка та виконання тестових завдань в електронному ресурсі "Moodle" - 5 год.

Тема4. Зносостійкість високолегованого наплавленого металу модифікованого наноксидами

**Лекція 26** Зносостійкість наплавленого металу дротом АН-180 на Ст.09Г2С при різних схемах введення наноксидів до зварювальної ванни. Порівняльна оцінка зносостійкості при застосуванні різних наноксидів і нанокарбідів. Зносостійкість в умовах сухого тертя та абразивного зношування.

Дидактичний матеріал: слайди.

Основна література статті [4.17], [4.14],[4.15],

Завдання СРС: опрацювання лекції та додаткової літератури, підготовка та виконання тестових завдань - 5 год

**Лекція 27** Підсумкова лекція по основних питаннях курсу

Дидактичний матеріал: слайди

Завдання СРС: експрес-опитування -0,5год.

## 5. Самостійна робота студента/аспіранта

Самостійна робота спрямована на засвоєння лекційного матеріалу - 54 год. та вивчення матеріалу додаткових джерел, що відводяться для самостійної роботи – 42 год.

## Політика та контроль

### 6. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

## ПОЛОЖЕННЯ

### про рейтингову систему оцінки успішності студентів

Розподіл навчального часу за видами занять і завдань з кредитного модуля згідно з робочим навчальним планом

Сем	Навчальний час	Розподіл годин за видами занять	Контрольні заходи
-----	----------------	---------------------------------	-------------------

	кредити	акад. год.	Лекції	Практичні заняття	Лабораторні роботи	СРС	МКР	РР	Семестр. атестат
2	5	150	54			96	–	–	екз.

Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, які він отримує за:

1. Відвідування лекційних занять та виконання тестових завдань;
2. Відповідь на екзамені.

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

#### 1. Відвідування лекцій

Ваговий бал – 0,5 бал.

Максимальна кількість балів за відвідування лекційних занять 14 балів.

виконання тестових завдань

Ваговий бал – 1 бал

Максимальна кількість балів затестування 36 балів

#### Критерії оцінювання

*Штрафні та заохочувальні бали за:*

- відсутність на лекційних заняттях без поважних причин – 0,5 балів;
- участь у виконання завдань із удосконалення дидактичних матеріалів з дисципліни 5 балів;

#### Розрахунок шкали (R) рейтингу:

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає:

$$R_C = \sum r_k = 14 + 36 = 50 \text{ балів}$$

Екзаменаційна складова шкали дорівнює — 50 балів

Таким чином, рейтингова шкала з кредитного модуля складає  $R = R_C + R_E = 100$  балів

Необхідною умовою допуску до заліку є стартовий рейтинг не менший 40% від  $R_C$  тобто 40 балів.

Виходячи з розміру шкали  $R_E = 50$  балів, складаються критерії екзаменаційного оцінювання з визначенням 4 рівнів.

На екзамені студенти виконують письмову контрольну роботу. Кожне завдання містить три питання. Кожне питання оцінюється у 17 балів,

Система оцінювання теоретичних питань:

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) 15–14 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації, або незначні неточності) 13–11 балів;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) 10–9 балів;
- «незадовільно», незадовільна відповідь 0 балів.

Сума стартових балів і балів за екзаменаційну контрольну роботу переводиться до екзаменаційної оцінки згідно з таблицею відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

### 7. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

*Поточний контроль: тестування- 36 балів*

*Календарний контроль: провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.*

*Семестровий контроль: екзамен*

*Умови допуску до семестрового контролю: семестровий рейтинг більше 40 балів.*

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

## **8. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)**

**Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

**Складено** професор, д.т.н., професор Кузнецов Валерій Дмитрович

**Ухвалено** кафедрою зварювального виробництва (протокол № 10 від 12.02.2021)

**Погоджено** Методичною комісією Механіко-машинобудівного інституту (протокол № 7 від 19.02.2021)