



ТЕОРІЯ ПРОЦЕСІВ ЗВАРЮВАННЯ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський)
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	131 Прикладна механіка
Освітня програма	Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій
Статус дисципліни	Нормативна
Форма навчання	заочна, змішана
Рік підготовки, семестр	II курс (для студентів, які навчаються за інтегрованими навчальними планами) / осінній семестр, II курс / весняний семестр
Обсяг дисципліни	135 год / 4,5 кредити ЄКТС
Семестровий контроль/ контрольні заходи	екзамен / МКР, РГР
Розклад занять	згідно http://rozklad.kpi.ua/
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: <i>ст. викл. Коперсак В.М., vkopersak@ukr.net</i> Лабораторні: : <i>ст. викл. Коперсак В.М., vkopersak@ukr.net</i>
Розміщення курсу	

Програма навчальної дисципліни

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

Якісна підготовка достойних фахівців галузі зварювального виробництва та споріднених напрямів передбачає на стадії базової вищої освіти бакалавра формування початків наукового аналізу процесів, які призводять до створення зварного з'єднання, та розуміння причинно-наслідкових зв'язків таких процесів з кінцевим результатом – утворенням якісного, відповідного стандартам, зварного шва. Тому навчальна дисципліна «Теорія процесів зварювання» віднесена до базових в циклі професійної підготовки за освітньо-професійною програмою «Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій». Навчальна дисципліна «Теорія процесів зварювання» дає основи наукових знань фізичних, фізико-хімічних, металургійних процесів, що протікають при зварюванні та споріднених технологічних процесах різання, паяння, нанесення покриття, лазерної обробки матеріалів та ін. Основи теоретичних знань таких явищ і процесів, обґрунтовані новітніми досягненнями зварювальної науки і техніки, спонукають студентів сприймати утворення зварного з'єднання, як єдиного комплексу різноманітних взаємопов'язаних різнопланових і різноспрямованих процесів, результатом яких є якісне нероз'ємне з'єднання конструкційних матеріалів.

Мета дисципліни: засвоєння та узагальнення особливостей фізичних процесів в зварювальних джерелах енергії та теплових процесів при зварюванні в стрункій системі теоретичних знань, набуття навичок теоретичного та експериментального дослідження цих процесів; засвоєння та узагальнення теоретичних основ фізико-хімічних процесів в

реакційній зоні зварювання, процесів кристалізації матеріалів при зварюванні, термо-деформаційних процесів та структурних перетворень у зоні термічного впливу, процесів утворення та розвитку тріщин та інших дефектів у зварних з'єднаннях, набуття навичок теоретичного та експериментального дослідження цих процесів, оволодіння методами аналізу й розрахунку закономірностей та кінетики їх протікання. Засвоєння теоретичних засад керування процесами утворення зварних швів для отримання якісних зварних з'єднань.

Предмет дисципліни: Головним чинником утворення зварних з'єднань є енергетичні ефекти. Найчастіше при зварюванні для нагрівання використовують електричну енергію. Носієм електричної енергії для утворення зварного шва є, найчастіше, електрична дуга, тому на початках детально розглядається фізика високострумівих дугових розрядів. Але є багато способів зварювання, в яких використовують енергію, що виділяється при горінні горючих газів, променеву енергію, механічну, а також їх поєднання. Тому подається опис та теоретичний аналіз фізико-хімічних процесів, що лежать в основі цих способів. Дія теплової енергії, необхідної для виконання зварного шва, на матеріал, який підлягає такій обробці спонукає розглядати питання теорії теплових процесів при зварюванні, а саме: визначення умов, при яких може бути досягнене необхідне для зварювання нагрівання виробів та розподіл температури всередині матеріалів, які приймають участь в утворенні зварного з'єднання, а також його зміни з часом для кожного окремого випадку зварювання. Водночас розглядаються також питання розплавлення та проплавлення матеріалів у зв'язку з тепловою дією джерел нагрівання. Власне, формування зварного з'єднання відбувається в обмеженій області реакційної зони зварювання. Саме там протікають складні процеси, результатом яких стає якісне формування нероз'ємного з'єднання. Тому увага студентів концентрується на фізико-хімічних процесах у реакційній зоні зварювання і на термодинамічних методах аналізу цих процесів. Також значна увага приділяється основам наукових теорій газової та шлакової фаз реакційної зони. Особливе значення для забезпечення якості та надійності зварного з'єднання мають процеси кристалізації та подальшого охолодження виробу після концентрованого нагрівання зварювальним джерелом тепла. Тому завершує теоретичні викладки аналіз процесів кристалізації розплавів металів та термо-деформаційних циклів нагрівання-охолодження. Даються також основи теорії структурних перетворень у зоні термічного впливу та теорій утворення гарячих та холодних тріщин при зварюванні.

Навіщо це потрібно студенту? Міцне теоретичне підґрунтя базових положень обраної студентом освітньої програми, яке здатна забезпечити навчальна дисципліна «Теорія процесів зварювання», вважається абсолютно необхідним студенту для якісного засвоєння прикладних та практичних елементів освітньої програми, розширюючи, таким чином, можливості креативного застосування отриманих знань в подальшій праці за обраною спеціальністю.

Вивчення дисципліни «Теорія процесів зварювання» передбачає формування та розвиток у студентів певних компетентностей, передбачених Стандартом вищої освіти України: перший (бакалаврський) рівень, галузь знань 13 – Механічна інженерія, спеціальність 131 – Прикладна механіка (Затверджено і введено в дію наказом Міністерства освіти і науки України від 20.06.2019 р. № 865.)

Загальні компетентності:

ЗК1 Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу

ЗК2 Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

ЗК3 Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми.

ЗК4 Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК5 Здатність працювати в команді.

ЗК7 Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ЗК13 Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.

Фахові компетентності:

ФК 1 Здатність аналізу матеріалів, конструкцій та процесів на основі законів, теорій та методів математики, природничих наук і прикладної механіки.

ФК 2 Здатність робити оцінки параметрів працездатності матеріалів, конструкцій і машин в експлуатаційних умовах та знаходити відповідні рішення для забезпечення заданого рівня надійності конструкцій і процесів, в тому числі і за наявності деякої невизначеності.

ФК 3 Здатність проводити технологічну і техніко-економічну оцінку ефективності використання нових технологій і технічних засобів

ФК 6 Здатність виконувати технічні вимірювання, одержувати, аналізувати та критично оцінювати результати вимірювань.

ФК 9 Здатність представлення результатів своєї інженерної діяльності з дотриманням загальноприйнятих норм і стандартів.

ФК 10 Здатність описувати та класифікувати широке коло технічних об'єктів та процесів, що ґрунтується на глибокому знанні та розумінні основних механічних теорій та практик, а також базових знаннях суміжних наук.

ФК 14 Здатність використовувати знання в галузі фізико-хімічних, термодформаційних та металургійних процесів для обґрунтованого призначення способів і технологічних параметрів зварювання і споріднених процесів

ФК 15 Здатність використовувати знання в галузі фундаментальних наук для вирішення технічних задач зі зварювання та споріднених технологій.

Результати вивчення дисципліни «Теорія процесів зварювання» деталізують такі програмні результати навчання, передбачені відповідним Стандартом вищої освіти України: РН 2 Використовувати знання теоретичних основ механіки рідин і газів, теплотехніки та електротехніки для вирішення професійних завдань.

РН 7 Застосовувати нормативні та довідкові дані для контролю відповідності технічної документації, виробів і технологій стандартам, технічним умовам та іншим нормативним документам.

РН 9 Знати та розуміти суміжні галузі (механіку рідин і газів, теплотехніку, електротехніку, електроніку) і вміти виявляти міждисциплінарні зв'язки прикладної механіки на рівні, необхідному для виконання інших вимог освітньої програми.

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

Навчальна дисципліна «Теорія процесів зварювання» є обов'язковим компонентом освітньої програми «Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій» і належить до циклу професійної підготовки. Для вивчення цієї навчальної дисципліни необхідне успішне засвоєння навчального матеріалу, з таких дисциплін, як «Вища математика», «Загальна Фізика», «Хімія», «Матеріалознавство», «Теоретичні основи теплотехніки», «Електротехніка і електроніка», «Механіка матеріалів і конструкцій». Знання, отримані при вивченні даної дисципліни використовуються студентами при подальшому вивченні таких дисциплін як «Здатність до зварювання конструкційних матеріалів», «Технології та устаткування зварювання плавленням, лазерних та споріднених процесів», «Виробництво конструкцій», «Спеціальні способи у зварюванні плавленням, лазерних та

споріднених технологіях», при підготовці дипломного проекту на здобуття ступеня бакалавра та при подальшому навчанні за ОПП/ОНП другого (магістерського) рівня вищої освіти.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ

Тема 1.1 Фізичні основи зварювання

Тема 1.2 Фізичні процеси зварювальної дуги

Тема 1.3 Недугові джерела тепла при зварюванні

Розділ 2. НАГРІВАННЯ ТА ПЛАВЛЕННЯ МЕТАЛУ ПРИ ЗВАРЮВАННІ

Тема 2.1 Основні положення теплопередачі

Тема 2.2 Метод джерел при обчисленні температурних полів

Тема 2.3 Розрахункові схеми нагрівання металу при зварюванні

Тема 2.4 Перенесення електродного металу при дуговому зварюванні

Розділ 3. МЕТАЛУРГІЙНІ ПРОЦЕСИ ПРИ ЗВАРЮВАННІ ПЛАВЛЕННЯМ

Тема 3.1 Фізико-хімічні основи процесів зварювання плавленням

Тема 3.2 Газова фаза при зварюванні та її взаємодія з металічною фазою

Тема 3.3 Шлакова фаза при зварюванні та її взаємодія з металічною фазою

Розділ 4. ОСНОВИ ЗВАРЮВАНOSTІ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ

Тема 4.1 Кристалізація металу зварного шва

Тема 4.2 Тріщини в зварних з'єднаннях

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література:

1. Коперсак В.М. Теорія процесів зварювання-1. Джерела нагрівання та теплові процеси при зварюванні. Текст лекцій. К.: НТУУ «КПІ», 2011. 384 с.
2. Коперсак В. М. Теорія процесів зварювання-2. Фізико-хімічні та металургійні процеси при зварюванні. Текст лекцій. К.: НТУУ «КПІ», 2011. 252 с.
3. Сливінський О.А. Теорія процесів зварювання: метод. вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни, для студ. спец. 131 «Прикладна механіка» спеціалізацій «Технології та інжиніринг у зварюванні» та «Автоматизовані технологічні системи у зварюванні». К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 48 с.
4. Теорія процесів зварювання: Метод. вказівки до виконання розрахункової роботи з дисципліни для студ. напряму 050504 «Зварювання» / Уклад.: О. А. Сливінський, В. М. Коперсак, Л. А. Жданов, В. Л. Коваленко. К., 2009. 53 с.
5. Віктор Коперсак Теорія процесів зварювання-1. Джерела зварювального нагрівання та теплові процеси при зварюванні. Методичні вказівки до самостійної роботи., - К., 2020. 30 с.
6. Віктор Коперсак. Теорія процесів зварювання-2. Фізико-хімічні та металургійні процеси при зварюванні. Методичні вказівки до самостійної роботи., - К.: НТУУ «КПІ» 2020. 29 с.
7. Сливінський О.А. Теорія процесів зварювання-1. Джерела нагрівання та теплові процеси при зварюванні: метод. вказівки для підготовки до модульних контрольних робіт з кредитного модуля, для студ. спец. 131 «Прикладна механіка», спеціалізації «Технології та інжиніринг у зварюванні». К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 11 с.

Додаткова література:

1. Messler R. W. Principles of Welding: Processes, Physics, Chemistry, and Metallurgy. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2004. 662 p.

2. Квасницький В.В. Теорія зварювальних процесів. Дослідження фізико-хімічних і металургійних процесів та здатності металів до зварювання. Навч. посіб. М.: УДМТУ 2002. 182 с.
3. Сливінський О.А. Здатність до зварювання конструкційних матеріалів. Навч. посіб. К.: НТУУ «КПІ» 2010. 259 с.
4. Свідерський В. П., Яремчук В. С. Термодинаміка і теплові процеси зварювання: навч. посібник. Хмельницький: ХНУ, 2014. 375 с.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальною дисципліною

В межах вивчення кредитного модуля впродовж семестру заплановано проведення лекційних та лабораторних занять, виконання модульних контрольних робіт та розрахунково-графічної роботи.

Фактично весь навчальний матеріал при заочній формі навчання виноситься на самостійну роботу. Видом семестрового контролю є екзамен.

Під час вивчення матеріалу застосовуються такі основні методи колективного та індивідуального активного навчання: репродуктивний, пояснювально-ілюстративний, відтворювальний, проблемно-пошуковий та метод проблемного викладу.

Для проведення консультацій залучаються методи дистанційного навчання та доступні інформаційно-комунікаційні технології.

Навчальний матеріал освітнього компоненту викладається згідно з наступною структурою (табл. 1).

Табл. 1. Структура викладання освітнього компоненту

Найменування розділів, тем	Всього годин	Лекції	Лабораторні Роботи	СРС
Розділ 1. ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ	14	2	2	10
Тема 1.1 Фізична суть зварювання, Тема 1.2 Фізичні процеси зварювальної дуги, Тема 1.3 Недуги джерела тепла при зварюванні	14	2	2	10
Розділ 2. НАГРІВАННЯ ТА ПЛАВЛЕННЯ МЕТАЛУ ПРИ ЗВАРЮВАННІ	32	4	2	26
Тема 2.1 Основні положення теплопередачі, Тема 2.2 Метод джерел при обчисленні температурних полів, Тема 2.3 Розрахункові схеми нагрівання основного металу при зварюванні	18	2		16
Тема 2.4 Перенесення електродного металу при дуговому зварюванні	14	2	2	10
Розділ 3. МЕТАЛУРГІЙНІ ПРОЦЕСИ ПРИ ЗВАРЮВАННІ ПЛАВЛЕННЯМ	22	2		20
Тема 3.1 Фізико-хімічні основи процесів зварювання плавленням, Тема 3.2 Газова фаза при зварюванні та її взаємодія з металічною фазою, Тема 3.3 Шлакова фаза при зварюванні та її взаємодія з металічною фазою	22	2		20

Розділ 4. ОСНОВИ ЗВАРЮВАНOSTІ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ	12	2		10
Тема 4.1 Кристалізація металу зварного шва, Тема 4.2 Тріщини в зварних з'єднаннях	12	2		10
Модульна контрольна робота	10			10
Розрахунково-графічна робота	15			15
Підготовка до екзамену	30			30
Всього	135	10	4	121

Табл. 2. Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (посилання на літературу та завдання на СРС)
1	Вступ. Способи з'єднання твердих тіл. Фізична суть зварювання. Види енергії, що використовуються при зварюванні, їх перетворювачі. Будова електричної дуги. Поняття про вільну і стиснену дугу. Принцип саморегулювання процесу дугового зварювання. Коефіцієнт саморегулювання. Взаємодія зовнішніх ВАХ джерела живлення і ВАХ дуги в реалізації принципу саморегулювання. променеві джерела зварювального нагрівання. Література: [1], стор. 8-130. Завдання на СРС: [1], стор. 354...359, питання для самоперевірки 1-119.
2	Основні теплофізичні показники та поняття. Види теплопередачі. Конвекція, радіація, теплопровідність. Закон Фур'є. Диференційне рівняння теплопровідності. Принцип суперпозиції в теплових розрахунках. Термічний цикл зварювання і його основні характеристики. Проплавлення основного металу при дуговому зварюванні. Теплова ефективність процесу проплавлення. Література: [1], стор. 160-302. Завдання на СРС: [1], стор. 359...356, питання для самоперевірки 120-223.
3	Нагрівання і плавлення електродного металу при дуговому зварюванні. Форми перенесення електродного металу. Характеристика сил, що діють на краплю при перенесенні. Радіус краплі електродного металу. Час існування краплі. Особливості перенесення при різних способах дугового зварювання. Методи управління перенесенням електродного металу. Література: [1], стор. 303-353. Завдання на СРС: [1], стор. 368, питання для самоперевірки 230-255.
4	Реакційна зона зварювання – основні поняття і визначення. Термодинамічні характеристики металургійних реакцій. Розчинність газів в розплавах металів. Окислення металевих розплавів, пружність дисоціації оксиду. Розкислення металу шва. Вплив кисню, азоту та водню на властивості металу зварного шва. Шлакова фаза реакційної зони зварювання. Механізм взаємодії шлак-метал. Рафінування та легування металу зварного шва. Література: [2], стор. 7...181. Завдання на СРС: [2], стор. 238-246, питання для самоперевірки 1-152.
5	Кристалізація металу при зварюванні. Пори і неметалеві включення в зварних швах. Поняття термо-деформаційного циклу зварювання, його наслідки для зварюваного

	металу. Тріщини в зварних з'єднаннях та їх класифікація. Заходи запобігання утворенню тріщин при зварюванні. Здатність до зварювання – комплексний показник властивостей зварюваного металу і технології зварювання. Принципова та технологічна зварюваність. Література: [2], стор. 182-237. Завдання на СРС: [2], стор. 247...248, питання для самоперевірки 153-182.
	Екзамен

Табл. 3. Лабораторні заняття

№ з/п	Назва лабораторної роботи	Кількість аудиторних годин
1	Нагрівання та плавлення покритих електродів для ручного дугового зварювання	2
2	Перенос електродного металу у зварювальній дузі	2

6. Самостійна робота студента

Згідно структури даної навчальної дисципліни для студента заочної форми навчання передбачається самостійне оволодіння навчальним матеріалом дисципліни. Кілька лекцій та кілька лабораторних робіт покликані не стільки озброїти студентів знаннями, скільки вказати головні напрямки засвоєння навчального матеріалу. Стандартна самостійна робота студента полягає у систематичному протягом семестру опрацюванні рекомендованої літератури і підготовці відповідей на контрольні запитання. Контрольні запитання (теоретичні та практичні) видаються студенту на початку семестру і представляються студентом викладачу в кінці семестру письмово у вигляді компактно оформленої модульної контрольної роботи (МКР).

Розрахунково-графічна робота (РГР) спрямована на закріплення студентами теоретичних знань процесів теплопередачі та їх математичного виразу, отриманих при вивченні дисципліни «Теорія процесів зварювання», та набуття навичок застосування типових схем розрахунків теплових процесів при зварюванні для подальшого аналізу впливу параметрів режиму на термічний цикл, температурні поля та кінцеву структуру металу, який підлягає зварювальній або спорідненій процедурі. Кожен студент виконує свій унікальний варіант завдання на РГР (див. Додаток А), який відрізняється від інших конфігурацією, розмірами виробів, хімічним складом матеріалу, що зварюється, та параметрами режиму зварювання. Робота виконується студентом самостійно під керівництвом викладача, який у встановленому порядку видає індивідуальне завдання на роботу, графік її виконання, надає студенту методичну допомогу та консультації.

Інструктивно-методичні матеріали для засвоєння теоретичних положень кредитного модуля та підготовки до контрольних заходів надано в тексті лекцій та методичних вказівках (див. п. 1...7 списку літератури), викладених в електронному кампусі.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Правила відвідування занять

Вивчення кредитного модуля у формі нечисленних аудиторних занять відбувається згідно графіку навчального процесу. Для успішного засвоєння навчальних матеріалів студенту рекомендується відвідування всіх видів занять.

Правила поведінки на заняттях.

Правила поведінки на заняттях регламентуються етичними нормами: всі учасники освітнього процесу в університеті повинні дотримуватись вимог чинного законодавства України, Статуту і Правил внутрішнього розпорядку НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», загальноприйнятих моральних норм і принципів, підтримувати атмосферу доброзичливості, відповідальності, порядності, доброчесності й толерантності, дбайливо ставитися до університетського майна.

Під час аудиторних занять студенти повинні дотримуватись діючих правил охорони праці, безпеки життєдіяльності і правил пожежної безпеки, а в разі навчання за дистанційною формою виконувати вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я під час роботи з екранними пристроями.

Основна робота студента над навчальним матеріалом виконується самостійно, що витікає із самих принципів заочного навчання.

Правила призначення заохочувальних та штрафних балів

Штрафні бали не застосовуються. Студенти зобов'язані дотримуватися термінів виконання усіх видів робіт, передбачених робочим навчальним планом. Дотримання студентом вказаних викладачем термінів виконання окремих видів чи розділів самостійної роботи може заохочуватись додатковими балами. Також заохочувальні бали застосовуються для відзначення особливих творчих внесків студентів при виконанні модульних контрольних та розрахунково-графічних робіт.

Політика щодо академічної доброчесності докладно описана у Кодексі Честі КПІ ім. Ігоря Сікорського (<https://kpi.ua/code>) і передбачає повну відповідальність студента за те, що всі виконані ним завдання відповідають принципам академічної доброчесності.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (РСО)

Поточний контроль.

Протягом семестру студент, який вивчає дисципліну «Теорія процесів зварювання», відвідує установчі лекції (10 академічних годин), виконує дві демонстраційні лабораторні роботи (4 години, можливо у дистанційному режимі), самостійно, під керівництвом та за консультаціями викладача, протягом семестру опановує навчальний матеріал (див. п.п. 4, 5 даного силабусу), виконує модульну контрольну роботу (МКР, питання наведено в Додатку А) та розрахунково-графічну роботу (РГР, типовий приклад завдання наведено в Додатку Б). Завдання на МКР і РГР видаються студенту на початку семестру.

Поточний контроль передбачає контроль регулярності самостійної роботи студента над вивченням навчального матеріалу. Кожне контрольне завдання повинно виконуватись у вказаний викладачем термін. За дотримання таких термінів студенту можуть нараховуватись додаткові бали, які потім включаються у загальну семестрову оцінку. Також, у встановлені викладачем терміни, студентом повинні бути виконані і представлені викладачу для перевірки модульна контрольна робота та розрахунково-графічна робота.

Календарний контроль.

Календарний контроль для студентів заочної форми навчання не передбачено.

Семестровий контроль.

Семестровий контроль проводиться у формі екзамену. На екзамені кожен студент отримує тест з 40 питань. Список питань наведено в п. 4 «Навчальні матеріали»: [1, стор. 354...368] і [2, стор. 238...248]. На кожне питання наводяться чотири варіанти відповіді: як правильні, так і неправильні. Студент повинен вибрати всі правильні відповіді і не обрати жодної неправильної. У випадку виконання цієї умови, студент отримує 1 бал. Таким чином максимальна оцінка за тест складає 40 балів. Тестування може проводитись як в очній формі, так і дистанційно. На опрацювання тесту відводиться 1,0 академічна година (45 хвилин).

Рейтингова система оцінювання та критерії нарахування вагових балів:

Рейтинг студента з дисципліни обчислюється за формулою з балів, які він отримує за:

1. Виконання модульної контрольної роботи:
 - а) відповіді на контрольні питання теоретичного спрямування (3 шт.);
 - б) відповіді на контрольні питання практичного спрямування (задачі, 6 шт.);
2. Виконання розрахунково-графічної роботи;
3. Оцінки додаткових та заохочувальних балів;

По пункту 1а – від 0 до 10 балів за кожне питання теоретичного спрямування, залежно від повноти і правильності відповіді, згідно наведеної нижче таблиці критеріїв оцінювання:

Таблиця 4 Критерії оцінювання теоретичних питань

Бал	Відсотки	Критерії оцінювання відповіді
10	91-100	Вірна і вичерпна відповідь на питання, демонструються знання з інших тем та кредитних модулів
9	81-90	Вірна, але не вичерпна відповідь на питання або правильна відповідь з окремими несуттєвими помилками
7...8	71-80	Вірна відповідь в цілому з несуттєвими помилками
5...6	61-70	В основному вірна відповідь, але не повна
4	51-60	Часткова відповідь або відповідь з несуттєвими помилками
3	21-30	Часткова відповідь з суттєвими помилками
2	11-20	Відповідь не по суті питання з окремими вірними елементами
1	0...10	Окремі елементи відповіді вірні, але в цілому відповіді на питання немає
0	0	Присутні деякі елементи відповіді не по суті питання
0	0	Присутні деякі елементи відповіді, що свідчать про нерозуміння або абсолютне незнання питання
0	0	Відсутність відповіді

По пункту 1б – від 0 до 10 балів за кожену задачу, залежно від повноти і правильності вирішення кожної задачі, згідно наведеної нижче таблиці критеріїв оцінювання:

Табл. 5 Критерії оцінювання практичних питань (рішення задач)

Бал	Критерії оцінювання відповіді
8...10	Задача вирішена правильно, результат відповідний еталонному
5...7	Хід вирішення задачі правильний, результат не відповідний еталонному
1...4	Хід вирішення задачі частково правильний, результат не відповідний еталонному
0	Хід вирішення задачі неправильний, результат не відповідний еталонному

0	Хід вирішення задачі неправильний, але результат відповідний еталонному
---	---

Всіх завдань дев'ять, отже, максимальна оцінка за МКР 90 балів

По пункту 2 – від 0 до 3 балів за кожне виокремлене завдання розрахунково-графічної роботи згідно наведеної нижче таблиці критеріїв оцінювання:

Табл. 6 Критерії оцінювання виокремлених завдань розрахунково-графічної роботи

Бал	Критерії оцінювання відповіді
3	Завдання виконано правильно в повному обсязі
2	Завдання виконано правильно, але не повністю та/або містить неточності, які не спотворюють суттєво кінцевий результат виконаної РГР
1	Хід виконання завдання правильний, але не досягнуто правильного результату, що може суттєво спотворити кінцевий результат виконаної РГР
0	Завдання не виконано

Всіх завдань вісім, отже, максимально можлива оцінка за РГР 24 бали.

По пункту 3 – до 5 балів на розсуд викладача.

Підсумкова семестрова атестація

Семестровий контроль проводиться у формі екзамену. Критерієм допуску до екзамену служить виконання студентом модульної контрольної роботи (оцінка $R_{МКР}$ не менше 54 балів) та розрахунково-графічної роботи (оцінка $R_{РГР}$ не менше 14 балів)

На екзамені студент опрацює тест з 40 питань, в якому за кожну правильну відповідь отримує 1 бал. Приклад екзаменаційного тесту не наводиться, оскільки він містить відповіді на задані питання.

Всіх питань тесту 40, отже, максимальна оцінка $R_E = 40$ балів.

Підсумкова оцінка (R) визначається як сума показників стартового рейтингу ($R_{СТ}$), оцінки, отриманої на екзамені (R_E) та заохочувальних балів (R_3):

$$R = R_{СТ} + R_E + R_3$$

Показник стартового рейтингу ($R_{СТ}$) визначається за формулою:

$$R_{СТ} = 0,3 \cdot R_{МКР} + 1,25 \cdot R_{РГР}$$

де: $R_{МКР}$ – оцінка за модульну контрольну роботу (МКР);

$R_{РГР}$ – оцінка за розрахунково-графічну роботу (РГР);

Згідно наведених положень, студент може бути допущений до екзамену, якщо його стартовий рейтинг за результатами семестрової діяльності виявиться рівний, або більший за:

$$(R_{СТ})_{\min} \geq 0,3 \cdot 54 + 1,25 \cdot 14 = 34^*$$

** всі, отримані в результаті підрахунків цифрові значення оцінок округляються до цілих значень, згідно з Правилами округлень*

Таким чином, максимальна оцінка за семестр «ідеального студента» складає 100 балів. Реальний студент, який крім максимальних позитивних оцінок успішності проявляв ініціативу і отримав додаткові бали, може набрати суму балів, більшу за 100. В такому випадку його оцінка прирівнюється до 100 балів.

Набрані студентами підсумкові рейтингові бали переводяться в залікові оцінки згідно наведеної нижче таблиці:

Табл. 6. Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою

Кількість балів	Залікова оцінка
95...100	відмінно
85...94	дуже добре
75...84	добре
65...74	задовільно
60...64	достатньо
< 60	незадовільно
стартовий рейтинг < 34	не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

У разі вимушеного запровадження дистанційного навчання в зв'язку з воєнним станом, або карантинними заходами, чи з інших, визнаних розпорядчими органами поважними, причин всю базову та методичну літературу згідно п. 4 даного силабусу студенти можуть отримати від викладача в електронному вигляді.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Укладено старшим викладачем кафедри зварювального виробництва Коперсаком В.М.

Ухвалена кафедрою зварювального виробництва (протокол № 19 від 28.06.2023)

Погоджена методичною комісією НН ІМЗ ім Є.О. Патона (протокол № 12/23 від 28.06.2023)

Додаток А

Перелік питань до модульної контрольної роботи

Визначте фізичну суть зварювання. Охарактеризуйте подібності і відмінності способів зварювання плавленням і тисненням. Наведіть приклади можливих класифікацій зварювальних процесів.

Джерела зварювального нагрівання та основні вимоги до них. Наведіть можливі трактування коефіцієнту корисної дії зварювального процесу та його ймовірні значення при різних способах зварювання.

Електрична дуга, як джерело зварювального нагрівання, її основні характеристики. Області дуги, та розподіл напруги в областях дуги. Які основні види зварювальних дуг?

Фізичні процеси в приелектродних областях дуги. Катодна область, види катодної емісії та її вплив на процеси в дузі. Плівкові й окисні, гарячі та холодні катоди. Анодна область та фізичні процеси в ній.

Фізичні процеси в стовпі дуги. Види іонізації дугового газу. Параметри процесу іонізації, та методи їх визначення. Поняття ефективного потенціалу іонізації суміші газів.

Іонізація газів у стовпі дуги. Поняття ступеню іонізації газу, методики визначення ступеню іонізації. Перенесення струму в стовпі дуги. Носії електричного струму в стовпі дуги. Густина струму в стовпі вільної дуги.

Принципи визначення вольт-амперної характеристики стовпа вільної дуги, виходячи з її каналової моделі. Принцип мінімуму та температура стовпа дуги. Вплив потенціалу іонізації дугового газу на температуру стовпа дуги.

Стиснена дуга. Принципи її отримання та вольт-амперна характеристика. Температура стисненої дуги як функція струму в дузі.

Магнітогідродинамічні явища в зварювальній дузі. Доцентрова магнітна сила і пінч-ефект. Взаємодія магнітного поля дуги та зовнішніх магнітних полів.

Охарактеризуйте принцип саморегулювання дугового зварювання. Назвіть ймовірні і можливі області застосування цього явища. Наведіть приклади використання принципу саморегулювання.

Охарактеризуйте види переносу електродного металу: крупнокрапельного, мілкокрапельного, струменевого. При яких умовах формується той чи інший вид переносу?

Які сили діють на краплю електродного металу, формуючи той чи інший вид переносу електродного металу: крупнокрапельного, мілкокрапельного, струменевого? Наведіть приклади рівноваги сил, які діють на краплю.

Які особливості переносу електродного металу: крупнокрапельного, мілкокрапельного, струменевого при різних способах зварювання? Які можливі методи управління переносом електродного металу?

Охарактеризуйте принципи застосування основних схем нагрівання і плавлення присадкового металу при зварюванні: для покритого електрода обмеженої довжини (ручне зварювання) і для необмеженого по довжині електрода (автоматичне зварювання).

Проплавлення основного металу при зварюванні. Форма, розміри та параметри зварювальної ванни. та зварного шва. Теплова ефективність процесу проплавлення. Об'єм та середня температура зварювальної ванни.

Охарактеризуйте реакційну зону зварювання, як систему термодинамічних взаємодій. Назвіть її головні складові частини і складіть перелік можливих процесів та взаємодій. Охарактеризуйте можливих учасників таких взаємодій.

Дисоціація, розчинення, окислення та випаровування речовин в реакційній зоні зварювання як приклад рівноважних, або таких, що можуть бути зведеними до рівноважних, процесів. Загальні принципи розкислення металу зварювальної ванни.

Розкажіть про взаємодію кисню з металом зварювальної ванни при зварюванні низьковуглецевих сталей, та про вплив кисню на механічні властивості і службові характеристики зварного шва.

Розкажіть про взаємодію азоту з металом зварювальної ванни при зварюванні низьковуглецевих сталей, та про вплив азоту на механічні властивості і службові характеристики зварного шва. Поясніть явище "старіння" насиченої азотом сталі.

Розкажіть про взаємодію водню з металом зварювальної ванни при зварюванні низьковуглецевих сталей, та про вплив водню на механічні властивості і службові характеристики зварного шва. Поясніть явище уповільненого руйнування металу, насиченого воднем.

Розкажіть про можливі способи захисту реакційної зони зварювання від повітря, шляхи їх реалізації, недоліки та переваги різних способів. Які критерії оцінки ефективності різних способів захисту реакційної зони?

Газошлаковий захист реакційної зони зварювання. Зварювальні електроди, їх типи, класифікації. Електродні покриття, їх головні складові. Порошкові дроти, принципи будови та застосування.

Шлаковий захист реакційної зони зварювання. Зварювальні флюси та шлаки. Структура шлаків, принципи взаємодії шлак-метал.

Охарактеризуйте основні принципи легування та рафінування металу при зварюванні. Розкажіть про шкідливий вплив сірки і фосфору на властивості металу та про можливі шляхи боротьби з таким впливом.

Розкажіть про кристалізацію металу при зварюванні, види кристалізації, її особливості та можливі шляхи управління процесом кристалізації.

Охарактеризуйте можливі причини та шкідливі наслідки появи пор та неметалічних включень в металі зварних швів. Розкажіть про шляхи боротьби з цими дефектами.

Розкажіть про гарячі тріщини при зварюванні. Наведіть схему утворення гарячих тріщин в рідко-твердому стані металу. Поясніть поняття температурного інтервалу крихкості.

Розкажіть про кристалізаційні та полігонізаційні (підсолідусні) гарячі тріщини при зварюванні, особливості їх утворення та методи запобігання їх появі.

Розкажіть про причини виникнення гарячих тріщин в зварних швах, методи боротьби з тріщинами та про методи випробувань металів на стійкість проти утворення гарячих тріщин.

Розкажіть про можливі причини і шкідливі наслідки утворення холодних тріщин в зварних з'єднаннях. Які методи запобігання появи холодних тріщин? Показник еквівалентного вуглецю, як комплексна характеристика стійкості проти утворення холодних тріщин.

Додаток Б

Приклад завдання на розрахунково-графічну роботу з дисципліни «Теорія процесів зварювання»

Зміст завдання:

Виконується електродугове зварювання пластин за один прохід з повним проплавленням.

Параметри режиму:

Матеріал пластин	Товщина пластин, мм	Зварювальний струм, А	Напруга на дузі, В	Швидкість зварювання, м/год
NF15RW6	MM	AAA	VV	WW

Обґрунтуйте вибір схеми розрахунків та розрахуйте температурне поле граничного стану в пластинах і побудуйте:

- 1) ізохрони вздовж осі руху джерела тепла;
- 2) ізотерми для температур 1485°C, 1150°C, 723°C, 550°C;
- 3) розподіл максимальних температур в поперечному перетині пластин;
- 4) обчисліть розміри зварювальної ванни та час її існування;

- 5) визначте протяжність структурних ділянок навколошовної зони та опишіть їх властивості використовуючи діаграму стану „залізо-вуглець” та розподіл максимальних температур (для граничного стану температурного поля);
- 6) побудуйте термічний цикл точки, яка нагрівається до температури 1350°C, і знайдіть графічно швидкість охолодження при температурі 550°C, порівняйте отримане значення з аналітичним розрахунком;
- 7) Обчисліть показник еквівалентного вуглецю для заданої сталі і визначте її схильність до утворення холодних тріщин;
- 8) зробіть висновки стосовно правильності призначеного в завданні режиму зварювання і необхідності попереднього підігрівання заданого матеріалу; розрахуйте (за необхідності) рекомендовану температуру попереднього підігрівання.