



ЗДАТНІСТЬ ДО ЗВАРЮВАННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>131 Прикладна механіка</i>
Освітня програма	<i>Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>заочна, змішана, дистанційна</i>
Рік підготовки, семестр	<i>III курс, осінній семестр / II курс, весняний семестр (для студентів, які навчаються за інтегрованими планами)</i>
Обсяг дисципліни	<i>120 год./4 кредити ЕКТС; лекції – 12 год., практичні – 6 год., СРС – 102 год.</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>залік/ МКР, РГР</i>
Розклад занять	<i>згідно http://rozklad.kpi.ua/</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: <i>к.т.н., доцент, Сливінський О. А., o.slyvinsky@gmail.com</i> Практичні: <i>к.т.н., доцент, Сливінський О. А., o.slyvinsky@gmail.com</i>
Розміщення курсу	<i>https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=3272</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Розвиток прикладних галузей сучасного матеріалознавства та металургії обумовлює постійне розширення номенклатури конструкційних матеріалів, що застосовуються для виготовлення зварних виробів та конструкцій. У свою чергу це вимагає створення нових і вдосконалення існуючих процесів та технологій зварювання, адже різні матеріали, залежно від їх теплофізичних властивостей, хімічного складу та структурних особливостей, неоднаково реагують на необхідний для утворення зварного з'єднання процес уведення енергії. Весь комплекс змін, який відбувається в матеріалах під впливом зварювальних процесів визначає їх здатність до утворення нерознімного зварного з'єднання із забезпеченням деякого заданого рівня експлуатаційних властивостей і, таким чином, характеризує здатність матеріалів до зварювання. Таким чином, здатність до зварювання – одна з найважливіших технологічних властивостей конструкційних матеріалів, що безпосередньо впливає на технологічну міцність, експлуатаційну надійність та якість зварних конструкцій і вузлів.

Дисципліна «Здатність до зварювання конструкційних матеріалів» формує необхідні для майбутніх інженерів-технологів знання та уміння прогнозувати потенційну схильність металів та сплавів до утворення спричинених зварюванням дефектів та обґрунтовано призначати металургійні, технологічні та конструкторські заходи з їх попередження, а також

оптимізувати технології зварювання задля мінімізації рівня деградації матеріалів під впливом зварювальних процесів.

Мета курсу: засвоєння та узагальнення студентами умов утворення якісних зварних з'єднань металічних матеріалів, формування знань про вплив термодеоформаційних, фізичних та фізико-хімічних процесів, що відбуваються в матеріалах під час зварювання, на їх окремі технологічні властивості, а також експлуатаційні властивості зварних конструкцій в цілому.

Предмет курсу:

Вивчення навчальної дисципліни зосереджено на опануванні знань, умінь та досвіду проведення кількісного та якісного аналізу технологічної зварності сучасних конструкційних матеріалів, регулювання хімічного, фазового та структурного складу металу зварного з'єднання, забезпечення технологічної міцності та експлуатаційної надійності зварних з'єднань, обґрунтованого призначення технологічних параметрів та спеціальних прийомів зварювання.

Вивчення навчальної дисципліни «Здатність до зварювання конструкційних матеріалів» спрямоване на підсилення та розвиток у студентів певних компетентностей, які передбачені освітньою програмою «Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти.

Загальні компетентності:

ЗК 4 Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях

ЗК 12 Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел

ЗК 13. 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 14 Здатність використовувати знання в галузі фізико-хімічних, термодеоформаційних 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 навчальної дисципліни деталізують такі **програмні результати навчання**, передбачені освітньою програмою «Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій»:

РН 20 Знати і розуміти фізичні, теплові, термомеханічні та фізико-хімічні процеси при зварюванні та споріднених технологіях, причинно-наслідкові зв'язки між характером цих процесів та умовами отримання нерознімних з'єднань або функціональних поверхонь

РН 21 Знати та розуміти методи оцінки технологічної міцності, експлуатаційної надійності та контролю якості зварних конструкцій і вузлів, вміти обґрунтовано призначати металургійні, технологічні та конструкторські заходи з попередження зварювальних дефектів та мінімізації ступеню деградації конструкційних матеріалів під впливом зварювальних процесів.

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

Навчальна дисципліна є складовою **сертифікатної програми** «Технології та інжиніринг у зварюванні та споріднених процесах», яка розроблена для підсилення фахових компетентностей освітньої програми «**Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій**», тобто навчальна дисципліна має статус вибіркової компоненти і належить до циклу професійної підготовки. Для вивчення даного курсу необхідне успішне засвоєння навчального матеріалу, з таких дисциплін, як «Вища математика», «Загальна фізика», «Хімія», «Технологія конструкційних матеріалів», «Матеріалознавство», «Теоретичні основи теплотехніки», «Теорія процесів зварювання». Отримані при вивченні даної дисципліни знання використовуються студентами при подальшому вивченні таких дисциплін, як «Технології та устаткування зварювання плавленням, лазерних та споріднених процесів», «Виробництво конструкцій», 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. ФІЗИЧНА ЗВАРНІСТЬ МАТЕРІАЛІВ

Розділ 2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЗВАРНІСТЬ СТАЛЕЙ ТА СПЛАВІВ

Тема 2.1 Фактори, критерії та показники здатності до зварювання

Тема 2.2 Хімічна активність зварюваних матеріалів

Тема 2.3 Чутливість до термодетформаційного циклу зварювання

Тема 2.3.1 Структурні перетворення в металі зварного з'єднання

Тема 2.3.2 Фазові перетворення в металі зварного з'єднання

Тема 2.3.3 Методи регулювання структури металу зварного з'єднання

Розділ 3. ТЕХНОЛОГІЧНА МІЦНІСТЬ ПРИ ЗВАРЮВАННІ

Тема 3.1 Гарячі тріщини

Тема 3.2 Холодні тріщини

Розділ 4. ЕЛЕМЕНТИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ МІЦНОСТІ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Тема 4.1 Крихке руйнування зварних з'єднань

Тема 4.2 Руйнування зварних з'єднань в особливих умовах навантаження

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література:

1. Сливінський О. А. Здатність до зварювання конструкційних матеріалів: навч. посібн. / О. А. Сливінський. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 260 с.
2. Здатність до зварювання конструкційних матеріалів. Практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 131 "Прикладна механіка" / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. А. Сливінський. – Електронні текстові дані (1 файл: 8.58 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 51 с.
3. Здатність до зварювання конструкційних матеріалів. Розрахунково-графічна робота [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 131 "Прикладна механіка" / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. О. А. Сливінський. – Електронні текстові дані (1 файл: 1.31 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 53 с.

Додаткова література:

4. Здатність до зварювання конструкційних матеріалів [Електронний ресурс] : метод. вказівки для підготовки до модульних контрольних робіт з дисципліни для студ. спец. 131 «Прикладна механіка», спеціалізації «Технології та інжиніринг у зварюванні» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. А. Сливінський. – Електронні текстові дані (1 файл: 0.14 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 12 с.

5. Металознавство і зварювання: [навчальний посібник для студентів усіх спеціальностей напряму підготовки 6.060101 "Будівництво"] / В.М. Гарнець, Я.Ю. Лобков; Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України, Київський національний університет будівництва і архітектури. – Київ : КНУБА, 2012. – 131 с.
6. Металографія зварних з'єднань: навчальний посібник / М.Г. Єфіменко, М.А. Погрібник, Н.О. Радзілова; Міністерство освіти і науки України, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут". – Харків : НТУ "ХПІ", 2016. – 119 с.

Навчальний контент

5. Методика опанування освітнього компонента

В межах вивчення навчальної дисципліни впродовж семестру заплановано проведення лекційних та практичних занять, модульної контрольної роботи, а також виконання студентами розрахунково-графічної роботи. Видом семестрового контролю є письмовий залік.

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

Для поповнення традиційних навчальних занять або організації викладання дисципліни під час **дистанційного навчання** застосовуються інформаційно-комунікаційні технології.

Навчальний матеріал освітнього компонента викладається на заняттях згідно з наступною структурою (табл. 1).

Табл. 1. Структура викладання освітнього компоненту

Найменування розділів, тем	Всього годин	Розподіл за видами занять		
		Лекції	Практичні заняття	СРС
Розділ 1. ФІЗИЧНА ЗВАРНІСТЬ МАТЕРІАЛІВ	4	-	-	4
Розділ 2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЗВАРНІСТЬ СТАЛЕЙ ТА СПЛАВІВ	47	5	2	40
Тема 2.1 Фактори, критерії та показники здатності до зварювання	9	1	-	8
Тема 2.2 Хімічна активність зварюваних матеріалів	15	1	-	14
Тема 2.3 Чутливість до термодетформаційного циклу зварювання	23	3	2	18
Розділ 3. ТЕХНОЛОГІЧНА МІЦНІСТЬ ПРИ ЗВАРЮВАННІ	32	4	2	26
Тема 3.1 Гарячі тріщини	16	2	1	13
Тема 3.2 Холодні тріщини	16	2	1	13
Розділ 4. ЕЛЕМЕНТИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ МІЦНОСТІ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ	10	2	-	8
Тема 4.1 Крихке руйнування зварних з'єднань	5	1	-	4
Тема 4.2 Руйнування зварних з'єднань в особливих умовах навантаження	5	1	-	4
Модульна контрольна робота	5	1		4
РГР	14	-	-	14
Залік	8	-	2	6
Всього	120	12	6	102

Табл. 2. Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	Особливості зварювальних процесів. Фактори здатності до зварювання. Неоднорідності в зварних з'єднаннях. Поняття технологічної зварюваності. Критерії та показники технологічної зварюваності. Групи вуглецевих сталей за зварюваністю. Поняття технологічної та експлуатаційної міцності. Хімічна активність основного металу, як критерій його зварюваності. Деградація властивостей металів та сплавів внаслідок поглинання ними газів при зварюванні. Технологічні та металургійні методи запобігання цьому. Література: [1], стор. 7-74. Завдання на СРС: [1], стор. 26, контрольні запитання 1-15, стор. 54, контрольні запитання 1-16, стор. 130, контрольні запитання 1-10.
2	Структурні та фазові перетворення в металі зварного з'єднання під впливом термодформаційного циклу зварювання. Первинна кристалізація рідкого металу. Поліморфні перетворення в металі зварного з'єднання. Умови протікання мартенситного перетворення. Вплив швидкості охолодження на кінцеву структуру вуглецевої сталі. Література: [1], стор. 70-117. Завдання на СРС: [1], стор. 130, контрольні запитання 11-35.
3	Технологічні та металургійні методи регулювання структури металу зварного з'єднання. Основні параметри термічного циклу зварювання. Термокінетичні діаграми фазових перетворень та діаграми анізотермічного розпаду аустеніту. Класифікація легованих сталей за їх чутливістю до термодформаційного циклу зварювання. Література: [1], стор. 118-130. Завдання на СРС: [1], стор. 132, контрольні запитання 36-43.
4	Поняття технологічної міцності. Гарячі тріщини – види, причини та механізми виникнення. Методи оцінки опірності металів та сплавів гарячим тріщинам. Способи запобігання утворенню гарячих тріщин при зварюванні. Література: [1], стор. 133-192. Завдання на СРС: [1], стор. 222, контрольні запитання 1-25.
5	Холодні тріщини – види, причини та механізми виникнення. Методи оцінки опірності металів та сплавів холодним тріщинам. Способи запобігання утворенню гарячих холодних при зварюванні. Література: [1], стор. 193-222. Завдання на СРС: [1], стор. 223, контрольні запитання 26-34.
6	Види крихкого руйнування металу зварних з'єднань. Методи оцінки опірності металу проти переходу в крихкий стан. Холодноламкість, високотемпературна повзучість. Особливості руйнування металу зварних з'єднань в активних робочих середовищах. Література: [1], стор. 225-251. Завдання на СРС: [1], стор. 251, контрольні запитання 1-26.

Табл. 3. Практичні заняття

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань (посилання на літературу та завдання на СРС)	Кількість ауд. годин	Кількість годин СРС
-------	---	----------------------	---------------------

1	Розрахунок кількості мартенситу та ферито-перлітної суміші в навколошовній ділянці. Література: [2], стор. 14-15. Завдання на СРС: [2], стор. 15-17.	2	4
2	Оцінка схильності металу зварних з'єднань до утворення гарячих та холодних тріщин. Література: [2], стор. 17-21. Завдання на СРС: [2], стор. 19-22.	2	4
3	Залікова контрольна робота	2	6

6. Самостійна робота студента

Самостійна робота студента полягає у виконанні розрахунково-графічної роботи з розрахункової оцінки зварності сталі певної марки (14 год.), підготовці до лекційних і практичних занять (78 год.), а також контрольних заходів МКР (4) та заліку (6 год.) шляхом опрацювання рекомендованої літератури і підготовці відповідей на контрольні запитання.

Структура РГР спрямована на творчий пошук та індивідуальний підхід у розв'язанні завдань з комплексної оцінки зварності досліджуваного матеріалу, сприяє розширенню ерудиції майбутнього інженера. Кожен студент виконує свій варіант завдання на РГР (див. Додаток А), який відрізняється від інших маркою сталі, товщиною виробу та параметрами режиму зварювання. Робота виконується під керівництвом викладача, який у встановленому порядку видає індивідуальне завдання на роботу, графік її виконання, надає студенту методичну допомогу та консультації.

Для студентів заочної форми навчання Розділ 1. ФІЗИЧНА ЗВАРНІСТЬ МАТЕРІАЛІВ виноситься на самостійне вивчення (4 год. СРС), також, внаслідок малої кількості аудиторних годин окремі теми розділів 2-4 розглядаються на лекційних заняттях у стислому виді.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Правила відвідування занять

Вивчення дисципліни відбувається згідно графіку навчального процесу. Відвідування всіх видів занять рекомендовано для успішного засвоєння навчальних матеріалів.

Для студентів, які беруть на себе відповідальність за організацію і планування свого часу для навчання, є можливість опановувати курс у **змішаному режимі**: ознайомлюватись з теоретичним матеріалом лекцій і розв'язувати практичні завдання – самостійно, з можливістю проведення консультацій викладачем, а МКР виконувати у груповому режимі під керівництвом викладача.

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 принципів, підтримувати атмосферу доброзичливості, відповідальності, порядності 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.

Правила призначення заохочувальних та штрафних балів

Рейтингова система оцінювання (РСО) не передбачає призначення штрафних або заохочувальних балів.

Пропущені контрольні заходи:

Якщо контрольні заходи пропущені з поважних причин (хвороба або вагомі життєві обставини), студенту надається можливість додатково скласти контрольне завдання протягом найближчого тижня. В разі порушення термінів і невиконання завдання з неповажних причин, студент не допускається до складання заліку в основну сесію.

На період дії воєнного стану «дедлайни» не діють і за відповідного звернення студенту надається можливість виконання усіх контрольних заходів за вільним графіком.

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 (PCO)

Поточний контроль.

З метою вивчення методик і набуття навичок з практичного використання розрахункових методів оцінки зварності сучасних конструкційних матеріалів навчальним планом передбачені практичні заняття (6 акад. годин). Навальний посібник для практичних занять викладено в електронному кампусі та електронному репозиторії ELAKPI.

Крім того, для перевірки засвоєння теоретичних знань з дисципліни передбачено модульну контрольну роботу (МКР) тривалістю 1 акад. годину, що проводиться на останньому аудиторному занятті установчої сесії. Завдання МКР складаються з теоретичних питань за матеріалами лекційного курсу (див. Додаток Б).

Поточний контроль складається з результатів оцінювання виконання студентами завдань з практичних занять, МКР та РГР.

Семестровий контроль.

В якості контролю знань, опанованих студентами за семестр викладання освітнього компоненту, навчальним планом передбачено складання заліку, умови допуску до якого та принцип оцінювання викладено в PCO освітнього компоненту.

Рейтингова система оцінювання та критерії нарахування вагових балів:

Протягом семестру студенти відвідують 6 лекційних занять та вирішують 3 задачі в рамках тематики практичних занять. Відвідування практичних занять обов'язкове, тому кожен студент повинен протягом семестру вирішити всі заплановані задачі.

1. Практичні заняття.

Ваговий бал – 10. Максимальна кількість балів, які можна отримати за відпрацювання всіх практичних занять: $10 \times 3 = 30$ балів;

За кожне практичне заняття студент може отримати від 0 до 10 балів:

- повна правильна відповідь усі показники розраховано вірно – 10 балів;
- достатньо повна відповідь з незначними неточностями – 8...9 балів;
- відповідь неповна, частина розрахованих даних помилкова – 6...7 балів;
- незадовільна відповідь – 0 балів.

2. Модульний контроль.

Модульна контрольна робота складається з 6 теоретичних питань. Ваговий бал кожного питання – 5, а модульної контрольної роботи – 30. В залежності від повноти та правильності відповіді на кожне питання, студент отримує наступні рейтингові бали:

- повна правильна відповідь, не менше 90% потрібної інформації – 5 балів;
- достатньо повна відповідь, не менше 75% потрібної інформації – 4 бали;
- відповідь неповна, але не менше 60% потрібної інформації – 3 бали;
- незадовільна відповідь – 0 балів.

Максимальна кількість балів, які можна отримати за МКР: $6 \times 5 = 30$ балів.

3. Розрахунково-графічна робота

Структура РГР передбачає обов'язкове виконання наступних завдань:

1. Характеристика зварюваного матеріалу.
2. Вплив легувальних елементів та домішок на зварність матеріалу.
3. Визначення фазового складу металу зварного з'єднання.
4. Аналіз потенційної схильності заданого матеріалу до утворення тріщин.
5. Розрахункова оцінка опірності металу зварного з'єднання до утворення тріщин.
6. Оптимізація параметрів режиму зварювання та розрахунок температури підігрівання.

Таким чином, правильність застосування розрахунково-аналітичних методик, вірність проведених розрахунків, глибина та обґрунтованість зроблених висновків під час виконання вище наведених завдань, разом з якістю оформлення текстової частини РГР, формують відповідні критерії оцінювання. Застосовуються наступні вагові бали:

$-r_1 = 2$. Критерії оцінювання: правильна класифікація сталі, наявність даних про її механічні властивості та теплофізичні показники в критичних температурних інтервалах;

$-r_2 = 3$. Критерії оцінювання: повнота та правильність аналізу впливу легувальних елементів та домішок в заданій сталі на її зварність, наявність відповідних висновків, кількість посилань на літературні джерела, правильність та аргументованість вибору методики подальших розрахунків зварності;

$-r_3 = 10$. Критерії оцінювання: правильність розрахунків параметрів термічного циклу зварювання та фазового складу окремих ділянок зварного з'єднання;

$-r_4 = 5$. Критерії оцінювання: повнота аналізу одержаних результатів, кількість посилань на літературні джерела, правильність та аргументованість висновків стосовно ймовірних дефектів та неоднорідностей при зварюванні заданої сталі, правильність призначених методів оцінки тріщиностійкості;

$-r_5 = 10$. Критерії оцінювання: повнота та правильність проведених розрахунків тріщиностійкості при зварюванні;

$-r_6 = 10$. Критерії оцінювання: правильність та виправданість розрахунку з оптимізації погонної енергії зварювання, а також температури попереднього підігрівання, обґрунтованість рекомендацій щодо теплового режиму зварювання.

Максимальна кількість балів, які можна отримати за РГР: $2+3+10+5+10+10 = 40$ балів.

Умови допуску до семестрового контролю

Необхідною умовою допуску до семестрового контролю у формі заліку є виконання студентом усіх практичних завдань, контрольних робіт та РГР.

Залік виставляється «автоматом», якщо за рейтингом набрано не менше 60 балів.

Зі студентами, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку менше 60 балів, а також з тими, хто бажає підвищити свою рейтингову оцінку, на останньому за розкладом занятті з дисципліни в семестрі викладач проводить семестровий контроль у вигляді письмової залікової контрольної роботи.

Залікова контрольна робота

Студенти, які допущені до заліку та повинні його скласти або незадоволені своїм семестровим рейтингом з дисципліни складають залік за «жорсткою» РСО. Це означає, що їх попередній рейтинг з дисципліни скасовується (за винятком балів за РГР) і вони отримують оцінку з урахуванням результатів залікової контрольної роботи.

Завдання з залікової контрольної роботи містить 2 питання (див. Додаток В):

- 1 теоретичне питання, відповідь на яке вимагає розкриття окремої теми з теоретичного курсу. Ваговий бал – 30 балів.
- 1 питання практичного характеру, повна відповідь на яке вимагає розв'язання задачі. Ваговий бал – 30 балів.

Таким чином забезпечується розмір шкали контрольної роботи: 60 балів.

Система оцінювання теоретичного запитання:

- повна правильна відповідь, не менше 90% потрібної інформації – 27...30 балів;
- достатньо повна відповідь, не менше 75% потрібної інформації – 23...26 балів;

- відповідь неповна, але не менше 60% потрібної інформації – 18...22 балів;
- незадовільна відповідь – 0 балів.

Система оцінювання практичного запитання:

- повне безпомилкове розв'язування завдання – 27...30 балів;
- повне безпомилкове розв'язування завдання з несуттєвими неточностями – 23...26 балів;
- завдання виконано з певними недоліками, але дано не менше 60% від повного об'єму правильної відповіді – 18...22 балів;
- завдання не виконано – 0 балів.

Підсумкове оцінювання результатів навчання студентів здійснюється шляхом переведенням рейтингових балів за 100-бальною шкалою до оцінок за університетською шкалою згідно з таблицею:

Табл. 4. 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
Не виконані умови допуску до семестрового контролю	не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

В умовах дистанційного навчання усю методичну, базову та додаткову літературу згідно п.4 даного силабусу студенти можуть отримати від викладача в електронному вигляді.

Освітній процес під час дистанційного навчання здійснюється за допомогою сервісів Zoom, Google Meet, з використанням персональних комп'ютерів студентів та викладача.

Навчально-методичні матеріали для самостійного вивчення дисципліни розміщено на платформі дистанційного навчання Центру інформаційних технологій в освіті ІПО КПІ ім. Ігоря Сікорського за посиланням: <https://do.ipi.kpi.ua/course/view.php?id=3272>

Консультації та обмін необхідною інформацією з дисципліни здійснюється в спеціально створеному телеграм-каналі.

Робоча програма навчальної дисципліни (силабус):

Складена доцентом кафедри зварювального виробництва, к.т.н., доцентом, Сливінським О. А.

Ухвалено кафедрою зварювального виробництва (протокол №6 від 18.11.23)

Погоджено Методичною комісією інституту НН ІМЗ ім. Є.О. Патона (протокол №05/23 від 11.12.23)

Додаток А

Тематика розрахунково-графічної роботи: Розрахункова оцінка зварності сталей

Перелік варіантів вихідних даних до виконання РГР

Варіант №	Марка сталі	Зварювальн ий струм	Напруга в дузі	Швидкість зварювання	Товщина з'єднаних деталей
		I, A	U, B	$V_{зв}, м/год$	$\delta, мм$
1	45	400	32	20	10
2	40Х	800	40	25	20
3	25	1200	45	120	14
4	30ХМА	750	32	30	15
5	35ХМ	450	35	30	10
6	12ХН2	260	26	22	6
7	30ХГСА	800	35	28	12
8	35ХГСА	350	30	22	8
9	25ХГСА	750	40	27	12
10	20ХГСА	200	25	22	5
11	10Г2Б	450	32	35	5
12	18Г2АФпс	700	34	30	10

13	20Г	300	30	20	12
14	40ХМФА	220	22	30	6
15	38ХГН	400	34	40	8
16	40ХН2МА	160	19	55	1,5
17	30ХГСН2МА	250	26	80	4
18	20ХНР	450	38	15	14
19	15ХСНД	420	36	70	6
20	45ХН2МФА	250	25	45	3
21	25Х1МФ	500	40	25	14
22	40ХФА	470	38	45	10
23	16ГНМА	300	28	20	8
24	25Х2НМФА	250	25	25	6
25	30ХГСНА	380	23	110	3
26	15ХФ	420	35	30	10
27	40ХС	300	24	90	3
28	40ХН	450	38	60	8
29	30ХН2МА	320	29	20	10
30	20ХГНР	300	30	50	6
31	12ХН2А	200	22	35	2
32	12Х1МФ	350	30	100	4
33	20Х13	270	26	44	5
34	12Х13	240	24	35	3
35	07Х16Н6	130	20	35	2
36	08Х22Н6Т	380	30	30	8
37	15Х25Т	180	26	27	3
38	20Х13Н4Г9	220	23	55	3
39	12Х18Н9	180	15	35	2
40	08Х16Н9М2	150	13	54	1,5

Додаток Б

Перелік питань до модульної контрольної роботи

1. Поясніть принцип утворення металічного зв'язку.
2. Що таке адсорбція ?
3. Що таке абсорбція ?
4. Що таке фізична адсорбція ?
5. Що таке хімічна адсорбція ?
6. Назвіть необхідні умови утворення монолітних зварних з'єднань.
7. Дайте визначення процесу зварювання.
8. Назвіть форми передачі енергії активації з'єднуванням поверхням.
9. Який зв'язок існує між нагріванням та осадкою ?
10. Розкрийте поняття зварювання тиском.
11. Розкрийте поняття зварювання в рідкому стані (плавленні).
12. За яких умов теоретично можливе з'єднання 2-х різнорідних матеріалів зварюванням ?
13. Розкрийте поняття фізичної зварності.
14. Охарактеризуйте особливості теплових процесів при зварюванні.

15. Охарактеризуйте особливості механічної дії на матеріал при зварюванні.
16. Охарактеризуйте особливості металургійних (фізико-хімічних) процесів при зварюванні.
17. Наведіть класифікацію власних напружень при зварюванні.
18. Що таке напруження 1-го, 2-го та 3-го роду ?
19. Що таке термодеоформаційний цикл зварювання ?
20. Намалюйте епюру залишкових напружень σ_x у стикових швах при зварюванні 2-х пластин ?
21. Дайте визначення пружної та пластичної деформації.
22. Як явища залишкових напружень та спотворення форми зварного виробу пов'язані із ускладненістю усадки ?
23. Назвіть можливі наслідки температурної пластичної деформації при зварюванні.
24. Назвіть можливі наслідки залишкових напружень при зварюванні.
25. Які групи факторів впливають на здатність матеріалу до зварювання ?
26. Розташуйте відомі Вам типи зварних з'єднань в порядку збільшення забезпечуваної ними швидкості охолодження.
27. Назвіть види неоднорідностей в зварних з'єднаннях.
28. В чому суть структурної неоднорідності зварних з'єднань ?
29. Що таке рекристалізація ?
30. В чому суть хімічної неоднорідності зварних з'єднань ?
31. Які види лікваций в зварних швах Ви знаєте ?
32. В чому суть механічної неоднорідності зварних з'єднань ?
33. Наведіть приклади геометричної неоднорідності зварних з'єднань.
34. Дайте визначення технологічної зварності.
35. Охарактеризуйте зварність вуглецевої сталі з $C < 0,25 \%$?
36. Охарактеризуйте зварність вуглецевої сталі з $0,25 \leq C < 0,35 \%$?
37. Охарактеризуйте зварність вуглецевої сталі з $0,36 < C < 0,5 \%$?
38. Охарактеризуйте зварність вуглецевої сталі з $C > 0,5 \%$?
39. Що таке технологічна міцність ?
40. Що таке експлуатаційна міцність ?
41. Що в термодинамічних розрахунках виступає мірою хімічної спорідненості елементів ?
42. За допомогою яких чисельних показників можна оцінити хімічну активність зварюваного матеріалу ?
43. В чому полягає особливість взаємодії алюмінію або магнію з киснем при зварюванні ?
44. Які хімічно активні метали спроможні в твердому стані поглинати при нагріванні атмосферні гази ?
45. Яким повинно бути співвідношення атомних радіусів газу та металу для утворення твердого розчину вкорінення ?
46. Наведіть технологічні методи запобігання насичення металу зварного з'єднання газами.
47. Наведіть металургійні методи запобігання насичення металу зварного з'єднання газами.

48. Які види перетворень характеризують чутливість матеріалу до термодформаційного циклу зварювання ?
49. Які види фазових перетворень відбуваються в металі при зварюванні ?
50. Що відносять до структурних перетворень в сплавах при зварюванні ?
51. Що таке вакансії ?
52. Що собою представляють дислокації та які види дислокацій Ви знаєте ?
53. Що таке полігонізація ?
54. Що таке сегрегація та ліквація ?
55. Чим звичайні границі зерен відрізняються від спеціальних ?
56. Що собою представляє дифузія в металах та сплавах ?
57. Що таке вторинна рекристалізація ?
58. Що розуміють під нерівноважністю кристалізації металу зварювальної ванни ?
59. Що означає бездифузійний характер кристалізації ?
60. В чому суть концентраційного переохолодження сплаву ?
61. Який тип первинної структури шва характерний для великого ступеню переохолодження розплаву ?
62. Який тип первинної структури шва характерний для незначного ступеню переохолодження розплаву ?
63. Як швидкість кристалізації металу ванни пов'язана із швидкістю зварювання ?
64. Сплави з яким типом кристалічної ґратки схильні до коміркової структури зварних швів ?
65. Сплави з яким типом кристалічної ґратки схильні до дендритної структури зварних швів ?
66. Що таке поліморфні (алотропні) перетворення ?
67. Мартенситне перетворення відбувається за дифузійним, чи бездифузійним механізмом ?
68. Що таке мартенсит в сталях ?
69. Які передумови повинні виконуватись для мартенситного перетворення в сплавах ?
70. Який тип кристалічної ґратки у мартенситу ?
71. При високій швидкості охолодження вуглецевої сталі більш ймовірною кінцевою структурою буде перліт, чи мартенсит ?
72. При малій швидкості охолодження вуглецевої сталі більш ймовірною кінцевою структурою буде бейніт, чи перліт ?
73. Намалюйте схему границі когерентного та некогерентного виділення в кристалічному матеріалі.
74. Що представляє собою дисперсне зміцнення сплаву ?
75. Що розуміють під жароміцністю ?
76. З якою метою вживають заходи з керування структурою зварного з'єднання ?
77. Які параметри термічного циклу зварювання контролюють при зварюванні вуглецевих, низько- та середньолегованих сталей ?
78. Для чого при зварюванні деяких груп сталей застосовують попереднє підігрівання ?
79. Що характеризують діаграми анізотермічного розпаду аустеніту ?

80. Які проблеми виникають при зварюванні стабільноаустенітних високолегованих сталей ?
81. Що можна визначити за допомогою діаграми Шефлера ?
82. Який параметр термічного циклу зварювання аустенітно-феритних сталей визначає кількість δ -фериту в зварному шві ?
83. Для чого при зварюванні стабільноаустенітних високолегованих сталей та сплавів застосовують примусове охолодження ?
84. Сформулюйте умову забезпечення технологічної міцності.
85. Дайте визначення гарячих тріщин при зварюванні.
86. Наведіть типи гарячих тріщин та поясніть різницю між ними.
87. Потенційну схильність до утворення якого типу гарячих тріщин мають всі без винятку сплави ?
88. Що таке температурний інтервал крихкості ?
89. Назвіть фактори, від яких залежить опірність гарячим тріщинам при зварюванні з точки зору теорії технологічної міцності.
90. Що ви можете сказати про верхню та нижню температурну границі першого (високотемпературного) інтервалу крихкості – TIK_1 ?
91. Чим ширше інтервал кристалізації сплаву, тим його опірність кристалізаційним тріщинам вища, чи нижча ?
92. Які домішки та легуючі елементи в сплавах здатні утворювати легкоплавкі евтектики ?
93. Що собою являє крихке руйнування металу ?
94. Наведіть зовнішні ознаки в'язкого, крихкого та змішаного руйнування металів.
95. Наведіть загальні ознаки крихкого руйнування металу зварного з'єднання.
96. Що являють собою концентратори напружень у зварних з'єднаннях.
97. Які фактори зумовлюють крихкість металів згідно зі схемою Іоффе ?
98. Що таке холодноламкість та поріг холодноламкості ?
99. Наведіть причини окрихчення металу зварного з'єднання.
100. Назвіть методи оцінювання опірності матеріалів проти переходу в крихкий стан.
101. Наведіть основні методи запобігання крихким руйнуванням зварних з'єднань.
102. Що таке втома, втомна міцність та границя витривалості металів ?
103. Наведіть загальні ознаки руйнування металу зварного з'єднання при втомі.
104. Які фактори впливають на границю витривалості зварних елементів конструкцій ?
105. Назвіть методи підвищення втомної міцності матеріалу зварних конструкцій.
106. Що таке корозія ?
107. Назвіть види корозії.
108. У чому полягає принцип електрохімічної корозії ?
109. Поясніть причини та механізм міжкристалітної корозії зварних з'єднань хромонікелевих сталей.
110. Поясніть принцип корозійного розтріскування.
111. Назвіть металургійні та технологічні заходи запобігання корозії зварних з'єднань хромонікелевих сталей.
112. Що таке жароміцність ?
113. Що таке повзучість та границя тривалої міцності ?

114. Охарактеризуйте вплив високих температур на структуру та міцність металічних матеріалів.

115. Наведіть приклади конструкційних жароміцних матеріалів. У чому полягають особливості їх структурного стану?

116. Наведіть основні заходи з профілактики крихких руйнувань зварних з'єднань жароміцних сталей та сплавів у процесі їх високотемпературної експлуатації.

Приклади теоретичних питань до залікової контрольної роботи

1. Проаналізуйте умови отримання монолітного зварного з'єднання та порівняйте види активації з'єднаних поверхонь.
2. Охарактеризуйте особливості теплових процесів при зварюванні, порівняно з термічною обробкою.
3. Дайте оцінку структурним, хімічним, механічним та геометричним неоднорідностям у зварних з'єднаннях.
4. Охарактеризуйте критерії, за якими проводиться оцінка технологічної зварності. Дайте оцінку впливу вуглецю на зварність конструкційних нелегованих сталей.
5. Проаналізуйте особливості взаємодії алюмінію та магнію з киснем та поясніть їх вплив на зварність сплавів алюмінію та магнію.
6. Обґрунтуйте особливості захисту реакційної зони зварювання від атмосферних газів при зварювальній обробці титану.
7. Порівняйте крайові та гвинтові дислокації. Дайте оцінку впливу процесу полігонізації на деформаційну спроможність металу зварного з'єднання.
8. Порівняйте відомі механізми дифузії атомів у кристалічному тілі та поясніть роль вакансій в дифузійних переміщеннях атомів.
9. Порівняйте поверхневу енергію звичайних та спеціальних (малокутових) міжзеренних границь. Поясніть рушійні сили та механізм міграції границь в шві та навколошовній ділянці.
10. Проаналізуйте вплив градієнту температур та швидкості кристалізації на тип первинної структури металу шва.
11. Обґрунтуйте вплив погонної енергії та швидкості зварювання на форму зварювальної ванни та схему кристалізації металу шва.
12. Порівняйте умови утворення та властивості феритно-перлітної і мартенситної структури.
13. Дайте оцінку впливу параметрів термічного циклу зварювання ($t_{>10}$, $t_{8/5}$, $\omega_{6/5}$) на структуру та властивості навколошовної ділянки вуглецевих та низьколегованих сталей.
14. Дайте оцінку впливу параметрів термічного циклу зварювання ($t_{12/8}$, $\omega_{12/8}$) на вміст δ -фериту та властивості металу шва нержавіючих хромонікелевих сталей.
15. Проаналізуйте фактори технологічної міцності та поясніть умову неруйнівності металу зварного з'єднання згідно теорії М. Н. Прохорова.
16. Поясніть причини утворення кристалізаційних гарячих тріщин, виходячи з уявлень про пластичність металу на різних стадіях його кристалізації.
17. Сформулюйте способи запобігання утворенню підсолідусних гарячих тріщин.
18. Дайте оцінку процесів рекристалізації (міграції границь) та термічного старіння в утворенні підсолідусних тріщин.
19. Порівняйте машинні методи оцінювання опірності сталей гарячим тріщинам з іншими відомими Вам методиками.
20. Порівняйте відомі Вам технологічні проби з іншими методами оцінювання опірності сталей гарячим тріщинам.
21. Сформулюйте способи запобігання утворенню кристалізаційних гарячих тріщин.
22. Обґрунтуйте вплив гартівної структури, на утворення холодних тріщин.

23. Обґрунтуйте вплив дифузійного водню в металі шва, на утворення холодних тріщин.
24. Порівняйте машинні методи оцінювання опірності сталей холодним тріщинам з іншими відомими Вам методиками.
25. Порівняйте відомі Вам технологічні проби з іншими методами оцінювання опірності сталей холодним тріщинам.
26. Сформулюйте способи запобігання утворенню холодних тріщин при зварюванні сталей схильних до гартування.

Приклад типової практичної задачі до залікової контрольної роботи

Користуючись діаграмою, визначити фазовий склад навколошовної ділянки при швидкостях охолодження $\omega_{6/5} = 1; 10; 100$ град/с, зазначивши кількість структурних складових.

Підібрати швидкість охолодження навколошовної ділянки ЗТВ, за якої структура містить $\leq 30\%$ мартенситу (інше перліт + бейніт та ферит):

