



ЗВАРЮВАННЯ ВИСОКОМІЦНИХ СТАЛЕЙ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>131 Прикладна механіка</i>
Освітня програма	<i>Прикладна механіка</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>Денна, змішана, дистанційна</i>
Рік підготовки, семестр	<i>II курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>150 год/5 кредитів ЄКТС; лекції – 54 год., практичні – 18 год., СРС – 78 год.</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>екзамен/МКР</i>
Розклад занять	<i>згідно http://rozklad.kpi.ua/</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: к.т.н., доцент, Сливінський О. А., o.slyvinsky@gmail.com Практичні: к.т.н., доцент, Сливінський О. А., o.slyvinsky@gmail.com</i>
Розміщення курсу	<i>https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=3554</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Актуальність вивчення дисципліни «Зварювання високоміцних сталей» обумовлена повною гармонізацією вітчизняних стандартів зі зварювання з міжнародними, постійним збільшенням номенклатури високоміцних конструкційних сталей закордонного виробництва на українському ринку, а також широким застосуванням спеціальних високоміцних сталей для виготовлення зварних корпусів бронетехніки військового призначення.

Метою навчальної дисципліни «Зварювання високоміцних сталей» є формування у студентів здатностей:

- застосовувати метод термодинамічного розрахунку рівноважного стану системи (CALPHAD) для чисельної побудови термокінетичних діаграм перетворення переохолодженого аустеніту сталей за їх хімічним складом;
- прогнозувати фазовий склад та фізико-механічні властивості металу зони термічного впливу зварних з'єднань високоміцних сталей за їх хімічним складом та температурним режимом зварювання;
- аналізувати потенційну небезпеку виникнення дефектів зварних з'єднань при електродуговому зварюванні високоміцних та броньових сталей, вживати заходи з їх попередження або виправлення;
- обґрунтовувати та призначати погонну енергію зварювання та температуру попереднього підігрівання згідно вимог діючих міжнародних стандартів щодо класифікації металевих матеріалів за групами та рекомендацій зі зварювання сталей феритного класу.

Предмет курсу.

Вивчення дисципліни зосереджено на опануванні знань структури, легування, технології виробництва, міжнародної класифікації та системи позначення високоміцних конструкційних,

машинобудівних та спеціальних сталей, а також основних принципів застосування зварювальних матеріалів, технологічного обладнання, підбору параметрів процесу електродугового зварювання, техніки виконання зварних швів, призначення методів контролю та організаційних заходів при розробці технологічних процесів електродугового зварювання елементів та конструкцій з цих матеріалів.

Навчальна дисципліна «Зварювання високоміцних сталей» спрямована **на підсилення та розвиток** у здобувачів вищої освіти за освітньо-науковою програмою «Прикладна механіка» другого (магістерського) рівня відповідних компетентностей.

Загальні компетентності:

ЗК 1 Здатність виявляти, ставити та вирішувати інженерно-технічні та науковоприкладні проблеми.

ЗК 6 Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

Фахові компетентності:

ФК 1 Здатність застосовувати відповідні методи і ресурси сучасної інженерії для знаходження оптимальних рішень широкого кола інженерних задач із застосуванням сучасних підходів, методів прогнозування, інформаційних технологій та з урахуванням наявних обмежень за умов неповної інформації та суперечливих вимог.

ФК 8 Здатність застосовувати відповідні математичні, наукові і технічні методи, інформаційні технології та прикладне комп'ютерне програмне забезпечення для вирішення інженерних і наукових завдань з прикладної механіки.

Результати вивчення дисципліни **деталізують** такі **програмні результати навчання**:

РН 1 Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання новітніх методів та методик проектування, аналізу і дослідження конструкцій, машин та/або процесів в галузі машинобудування та суміжних галузях знань.

РН 8 Вчитися і оволодівати сучасними знаннями, технологіями, інструментами і методами, зокрема через самостійне опрацювання фахової літератури, участь у науково-технічних та освітніх заходах.

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

Навчальна дисципліна «Зварювання високоміцних сталей» має статус вибіркової компоненти і належить до циклу професійної підготовки в рамках ОНП «Прикладна механіка». Зміст даного освітнього компонента базується на матеріалі, який студенти попередньо вже вивчали в таких дисциплінах бакалаврського циклу підготовки за освітньою програмою «Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій» як «Матеріалознавство», «Механіка матеріалів і конструкцій», «Теорія процесів зварювання», «Технології та устаткування зварювання плавленням, лазерних та споріднених процесів», «Виробництво конструкцій». Знання, отримані при вивченні даної дисципліни використовуються студентами при підготовці курсових проектів і робіт та магістерських дисертацій, що виконуються за напрямком досліджень зварності високоміцних сталей та розроблення технології складання та зварювання виробів з цих матеріалів.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1 КЛАСИФІКАЦІЯ СУЧАСНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ ЗА МЕХАНІЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЇХ ЗВАРЮВАННЯ

Тема 1.1 Характеристика конструкційних сталей, що застосовуються в сучасному транспортному машинобудуванні

Тема 1.2 Позначення високоміцних сталей за вимогами міжнародних стандартів та їх класифікація, обумовлена зварюванням

Тема 1.3 Методи зварювання легованих високоміцних сталей

Розділ 2. ЗВАРЮВАННЯ МАШИНОБУДІВНИХ ТА СПЕЦІАЛЬНИХ СТАЛЕЙ З ГРАНИЦЕЮ МІЦНОСТІ ВИЩЕ 1300 МПа

Тема 2.1 Зварність легованих сталей мартенсито-бейнітного класу

Тема 2.2 Зварювання сталей для бронезахисту

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література:

1. Зварювання високоміцних сталей: Домашня контрольна робота: навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізації «Технології та інжиніринг у зварюванні» / О. А. Сливінський. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 20 с.
2. Зварювання високоміцних сталей: Курсова робота: навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізації «Технології та інжиніринг у зварюванні» / О. А. Сливінський. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 35 с.
3. ДСТУ ISO/TR 17671-2:2015 «Зварювання. Рекомендації щодо зварювання металевих матеріалів. Частина 2. Дугове зварювання феритних сталей».

Додаткова література:

4. Fonstein N. Advanced High Strength Sheet Steels. Physical Metallurgy, Design, Processing and Properties. Springer, 2015. 396 p.
5. Rana R., Singh S. B. Automotive Steels. Design, Metallurgy, Processing and Applications. Woodhead Publishing, 2017. 469 p.
6. Shome M., Tumuluru M. Welding and Joining of Advanced High Strength Steels (AHSS). Woodhead Publishing, 2015. 204 p.
7. Singh R. Applied Welding Engineering: Processes, Codes, and Standards, 3rd Edition. Butterworth-Heinemann, 2020. 442 p.
8. Svensson L.-E. Control of Microstructures and Properties in Steel Arc Welds (Materials Science & Technology), 1st Edition. CRC Press, 2019. 256 p.
9. Singh R. Weld cracking in ferrous alloys. Woodhead Publishing, 2008. 576 p.
10. Crouch I. The Science of Armour Materials, 1st Edition. Woodhead Publishing, 2016. 754 p.
11. Hazell P. J. Armour: Materials, Theory, and Design, 1st Edition. CRC Press, 2015. 395 p.
12. ДСТУ CEN ISO/TR 15608:2015 «Зварювання. Настанови щодо класифікації металевих матеріалів за групами».
13. ДСТУ EN 10020:2007 «Сталі. Визначення й класифікація».
14. ДСТУ EN 10027-1:2004 «Сталь. Системи позначання. Частина 1. Назви сталі. Основні символи».
15. ДСТУ EN 10025-6:2007 «Вироби гарячекатані з конструкційної сталі. Частина 6. Технічні умови постачання плоских виробів з конструкційної сталі з високою границею плинності в загартованому та відпущеному стані».
16. ДСТУ EN 10028-6:2016 «Вироби пласкі сталеві для використання під тиском. Частина 6. Зварювані загартовані та відпущені дрібнозернисті сталі».
17. ISO 17642-2 «Destructive tests on welds in metallic materials. Cold cracking tests for weldments. Arc welding processes. Part 2: Self-restraint tests».
18. ISO 17642-2 «Destructive tests on welds in metallic materials. Cold cracking tests for weldments. Arc welding processes. Part 2: Externally loaded tests».

Навчальний контент

5. Методика опанування освітнього компонента

В межах вивчення освітнього компоненту впродовж семестру заплановано проведення лекційних, практичних занять та 2-х модульних контрольних робіт. Видом семестрового контролю є письмовий 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 поповнення традиційних навчальних занять або організації викладання дисципліни під час дистанційного навчання застосовуються інформаційно-комунікаційні технології.

Навчальний матеріал освітнього компоненту викладається на заняттях згідно зі наступною структурою (табл. 1).

Табл. 1. Структура викладання освітнього компоненту

Найменування розділів, тем	Всього годин	Розподіл годин за видами занять		
		Лекції	Практичні заняття	СРС
ВСТУП	2	2	-	-
Розділ 1 КЛАСИФІКАЦІЯ СУЧАСНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ ЗА МЕХАНІЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЇХ ЗВАРЮВАННЯ				
Тема 1.1. Характеристика конструкційних сталей, що застосовуються в сучасному транспортному машинобудуванні	28	19	-	9
Тема 1.2. Позначення високоміцних сталей за вимогами міжнародних стандартів та їх класифікація, обумовлена зварюванням	11	4	2	5
Тема 1.3. Методи зварювання легованих високоміцних сталей	18	4	6	8
<i>Модульна контрольна робота 1</i>	3	1	-	2
Разом за розділом 1	60	28	8	24
Розділ 2 ЗВАРЮВАННЯ МАШИНОБУДІВНИХ ТА СПЕЦІАЛЬНИХ СТАЛЕЙ З ГРАНИЦЕЮ МІЦНОСТІ ВИЩЕ 1300 МПа				
Тема 2.1. Зварність легованих сталей мартенсито-бейнітного класу	27	10	6	11
Тема 2.2 Зварювання сталей для бронезахисту	28	13	4	11
<i>Модульна контрольна робота 2</i>	3	1	-	2
Разом за розділом 2	58	24	10	24
Екзамен	30	-	-	30
Всього	150	54	18	78

Табл. 2. Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань (посилання на літературу та завдання на СРС)
1.	Зміст та завдання навчального курсу «Зварювання високоміцних сталей», його зв'язок з іншими навчальними дисциплінами. Історична довідка учбової дисципліни та основні тенденції. Мета та завдання дисципліни.
2.	Вимоги до механічних властивостей та класифікація конструкційних сталей за міцністю. Література [4, с. 1-14; 5, с. 13-33] Завдання на СРС: дати відповіді на контрольні запитання [1, с. 13]
3.	Сталі звичайної міцності (IF-, Mild steels). Література [5, с. 113-141, 259-264] Завдання на СРС: дати відповіді на контрольні запитання за темою [1, с.13]
4.	Металургійні механізми зміцнення сталевого прокату. Технології термічної та термомеханічної обробки. Література [7, с. 111-121; 8, с. 64-82] Завдання на СРС: дати відповіді на контрольні запитання за темою [1, с.14]
5.	Сталі підвищеної міцності: марганцеві сталі, мікролеговані та низьколеговані (HSLA steels). Література [5, с. 145-166; 7, с. 60-62] Завдання на СРС: дати відповіді на контрольні запитання за темою [1, с.13]

6.	Склад, властивості та зварність низьколегованих конструкційних бейнітно-мартенситних сталей Література [7, с. 224-227] Завдання на СРС: дати відповіді на контрольні запитання за темою [1, с.13]
7.	Методи зварювання та зварювальні матеріали для з'єднання низьколегованих конструкційних сталей підвищеної міцності Література [7, с. 227-238] Завдання на СРС: дати відповіді на контрольні запитання за темою [1, с.13]
8.	Регулювання механічних властивостей сталей шляхом створення мультифазної структури Література [4, с. 67-132] Завдання на СРС: дати відповіді на контрольні запитання за темою [1, с.14]
9.	Сталі високої міцності: двофазні (DP-steels) та багатофазні (CP-steels) Література [4, с. 241-257; 5, с. 169-209] Завдання на СРС: дати відповіді на контрольні запитання за темою [1, с.13-14]
10.	Методи підвищення пластичності високоміцних сталей. TRIP- та TWIP-ефекти Література [4, с. 94-104; 5, с. 110-121; 6, с. 23-34] Завдання на СРС: дати відповіді на контрольні запитання за темою [1, с.14]
11.	ПНП-сталі (TRIP-steels), ПНД-сталі (TWIP-steels), мартенситні та мартенситно-старіючі сталі. Література [4, с. 56-93; 5, с. 45-108] Завдання на СРС: дати відповіді на контрольні запитання за темою [1, с.13-14]
12.	Класифікація сталей згідно ДСТУ EN 10020. Можливі варіанти позначень конструкційних сталей, у разі їх застосування у гарячекатаному вигляді, згідно вимог ДСТУ EN 10025. Література [13, 14] Завдання на СРС: дати відповіді на контрольні запитання за темою [1, с. 14]
13.	Позначення сталей згідно ДСТУ EN 10027-1, у разі застосування маркування за їх хімічним складом. Класифікація сталей за ДСТУ СЕН ISO/TR 15608 «Зварювання. Настанови щодо класифікації металевих матеріалів за групами». Класифікація легованих сталей згідно закономірностей їх реакції на термічний цикл зварювання. Література [12, 15, 16] Завдання на СРС: дати відповіді на контрольні запитання за темою [1, с.14]
14.	Типові нероз'ємні з'єднання конструкційних високоміцних сталей в автомобілебудуванні та транспортному машинобудуванні. Вплив зварювального тепла на структуру та властивості металу зварного з'єднання високоміцних сталей. Література [6, с. 55-58, 71-90] Завдання на СРС: дати відповіді на контрольні запитання за темою [1, с. 15]
15.	Способи та технології зварювання високоміцних сталей з мінімальним тепловкладенням в основний метал. Контактне зварювання. Зварювання в захисному газі пульсуючою дугою з контрольованим переносом електродного металу. Лазерне та гібридне лазерно-дугове зварювання. Література [6, с. 59-69, 121-134; 8, с. 109-112] Завдання на СРС: дати відповіді на контрольні запитання за темою [1, с. 15-16]
16.	Структура, механічні властивості та галузі застосування термозміцнених конструкційних сталей мартенсито-бейнітного класу. Типи мартенситної структури за класифікацією міжнародного інституту зварювання. Відпуск мартенситу. Література [8, с. 83-106] Завдання на СРС: дати відповіді на контрольні запитання за темою [1, с. 16]
17.	Структура зварювальної зони термічного впливу легованих сталей мартенсито-бейнітного класу у порівнянні з низьковуглецевими сталями. Неоднорідності зварних з'єднань сталей мартенсито-бейнітного класу. Література [8, с. 174-186] Завдання на СРС: дати відповіді на контрольні запитання за темою [1, с. 16]

18.	Холодні тріщини в зварних з'єднаннях високоміцних сталей. Роль дифузійного водню в утворенні холодних тріщин. Джерела водню в реакційній зоні зварювання та області його накопичення в полікристалічній структурі металу зварного з'єднання. Література [8, с. 38-44] Завдання на СРС: дати відповіді на контрольні запитання за темою [1, с. 16]
19.	Методи оцінки опірності зварних з'єднань до холодних тріщин. Вуглецевий еквівалент. Діаграма Гравіля. Методи випробування опірності зварних з'єднань до холодних тріщин згідно ISO 17642. Література [9, с. 222-313; 17, 18] Завдання на СРС: дати відповіді на контрольні запитання за темою [1, с. 16]
20.	Теплові режими зварювання високоміцних загартованих та відпущених сталей. Рекомендації щодо зварювання високоміцних сталей за ДСТУ ISO/TR 17671-2. Література [3] Завдання на СРС: дати відповіді на контрольні запитання за темою [1, с. 16]
21.	Класифікація, вимоги та принципи легування броньових сталей. Вплив твердості сталевोї броні на її балістичну стійкість. Література [10, с. 55-76; 11, с. 177-188] Завдання на СРС: дати відповіді на контрольні запитання за темою [1, с. 17]
22.	Типовий розподіл твердості в ЗТВ зварних з'єднань броньових сталей. Вплив механічної неоднорідності зварних з'єднань на їх балістичну стійкість. Вплив термічного різання на властивості металу обрізної крайки броньових сталей. Література [10, с. 76-88, 90-92] Завдання на СРС: дати відповіді на контрольні запитання за темою [1, с. 17]
23.	Особливості технології дугового зварювання броньових сталей. Зварювальні матеріали та типи з'єднань зварних корпусів військової бронетехніки. Завдання на СРС: дати відповіді на контрольні запитання за темою [1, с. 17]
24.	Вимоги до типового технологічного процесу зварювання броньових складальних одиниць для військових гусеничних та колісних машин. Завдання на СРС: дати відповіді на контрольні запитання за темою [1, с. 17]
25.	Контроль якості зварних з'єднань броньових сталей, типові дефекти та їх виправлення. Завдання на СРС: дати відповіді на контрольні запитання за темою [1, с. 17]
26.	Шляхи підвищення балістичної стійкості зварних з'єднань броньових сталей. Спеціальне конструктивне виконання зварних вузлів. Зміцнювальне наплавлення та технології отримання композитних зварних швів. Завдання на СРС: дати відповіді на контрольні запитання за темою [1, с. 17]
27.	Регулювання теплового режиму електродугового зварювання пульсуючим струмом та тепловідвідною оснасткою. Завдання на СРС: дати відповіді на контрольні запитання за темою [1, с. 17]

Табл. 3. Практичні заняття

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань (посилання на літературу та завдання на СРС)
1	Ситуаційна вправа аналітично-пошукового характеру (кейс): розшифровування позначень сталей згідно ДСТУ EN 10027-1 та їх класифікація за ДСТУ CEN ISO/TR 15608.
2	Розрахунок та побудова діаграми анізотермічного перетворення аустеніту для сталі заданого складу. Література: [2], стор. 15-19. Завдання на СРС: [1], стор. 15.
3	Розрахунок структурних діаграм металу зони термічного впливу. Література: [2], стор. 19-25. Завдання на СРС: [1], стор. 16.
4	Розрахунок температури попереднього підігрівання згідно ДСТУ ISO/TR 17671-2 Завдання на СРС: [1], стор. 6-13.

5	Оцінка зварності сталі за діаграмою Гравіля. Література: [2], стор. 11-12. Завдання на СРС: [1], стор. 16.
6	Розрахунок механічних властивостей металу зони термічного впливу. Література: [2] стор. 25-27. Завдання на СРС: [1], стор. 16.
7	Розрахунок та побудова діаграм деформування для металу ЗТВ. Література: [2], стор. 27-32. Завдання на СРС: [1] стор. 15.
8	Ситуаційна вправа аналітично-пошукового характеру (кейс): заходи зниження деградації експлуатаційних властивостей зварних з'єднань високоміцної сталі
9	Ситуаційна вправа аналітично-пошукового характеру (кейс): заходи попередження тріщиноутворення при зварюванні високоміцної сталі

6. Самостійна робота студента

Згідно структури даного кредитного модулю винесення окремих тем або розділів для самостійного вивчення студентами не передбачено. Самостійна робота студента полягає у підготовці до лекційних і практичних (семінарських) занять (44 год.), а також до контрольних заходів 2-х МКР (по 2 год.) та екзамену (30 год.) шляхом опрацювання рекомендованої літератури та підготовки відповідей на контрольні запитання.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Правила відвідування занять

Вивчення освітнього компонента 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 опанувати дисципліну у **змішаному режимі**: ознайомлюватись з теоретичним матеріалом лекцій і розв'язувати практичні завдання – самостійно, з можливістю проведення консультацій викладачем, а модульні контрольні роботи 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 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 (PCO) 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.

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 здобуття практичного досвіду із застосування методу термодинамічного розрахунку рівноважного стану системи (CALPHAD) для чисельної побудови термодинамічних діаграм перетворення переохолодженого аустеніту сталей за їх хімічним складом, прогнозування фазового складу та фізико-механічних властивостей металу зони термічного впливу зварних з'єднань високоміцних сталей за їх хімічним складом та температурним режимом зварювання навчальним планом передбачені практичні заняття (0,5 акад. годин на тиждень).

Крім того, для перевірки засвоєння теоретичних знань з дисципліни протягом семестру проводиться поточний контроль, що складається з 2 модульних контрольних робіт (МКР), тривалістю 1 акад. годин кожна. Завдання контрольних робіт складаються з теоретичних питань за матеріалами лекційного курсу (див. Додаток А).

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

Календарний контроль.

Проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестровий контроль.

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

Рейтингова система оцінювання та критерії нарахування вагових балів:

1. Практичні заняття

Протягом семестру студенти вирішують 6 задач та 3 ситуаційні вправі аналітично-пошукового характеру в рамках тематики практичних занять.

Для практичних занять з розв'язком задач ваговий бал $r_{\text{пр1}} = 5$. Тоді система рейтингових балів для кожного такого практичного заняття:

- повна правильна відповідь усі показники розраховано вірно – 5 балів;
- достатньо повна відповідь з незначними неточностями – 4 бали;
- відповідь неповна, частина розрахованих даних помилкова – 3 бали;
- незадовільна відповідь – 0 балів.

Для практичних занять з ситуаційними вправами (кейсами) ваговий бал $r_{\text{пр2}} = 4$. Тоді система рейтингових балів для кожного такого практичного заняття:

- активна робота протягом усього заняття, бездоганно вірні повні творчі відповіді та коментарі – 4 бали;
- достатньо активна робота протягом усього заняття, відповіді з незначними недоліками – 3 бали;
- не достатньо активна робота, відповіді загалом вірні, але неповні та не обґрунтовані – 2 бали;
- не приймав участі в обговоренні, або були грубі помилки – 0 балів.

Максимальна кількість балів, які можна отримати за відпрацювання всіх практичних: $5 \times 6 + 4 \times 3 = 42$ бали.

2. Модульний контроль

Модульний контроль проводиться двічі за семестр і базується на відповідній кількості годин лекційних занять та СРС. Кожна контрольна робота складається з 3 теоретичних питань. В залежності від повноти та правильності відповіді на кожне питання, студент отримує наступні рейтингові бали:

- повна правильна відповідь, не менше 90% потрібної інформації – 3 бали;
- достатньо повна відповідь, не менше 75% потрібної інформації – 2 бали;
- відповідь неповна, але не менше 60% потрібної інформації – 1 бал;
- незадовільна відповідь – 0 балів.

Таким чином максимальна кількість балів за 1 МКР: $3 \times 3 = 9$ балів.

Максимальна кількість балів, які можна отримати за 2 МКР: $2 \times 9 = 18$ балів.

Умови позитивної календарного контролю

За результатами навчальної роботи за перші 7 тижнів студент має набрати 19 балів. На першій атестації (8-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше $0,5 \times 19 \approx 10$ балів.

За результатами 13 тижнів навчання студент має набрати 43 бали. На другій атестації (14 тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше $0,5 \times 43 \approx 22$ бали.

За результатами 18 тижнів навчання «ідеальний студент» має набрати 60 балів, виконавши усі практичні завдання та МКР.

Умови допуску до семестрового контролю

Максимальна сума балів стартової складової рейтингу (до початку сесії): 60 балів. Необхідною умовою допуску до екзамену є написання студентом всіх контрольних робіт, а також стартовий рейтинг не менше 50 % від максимального, тобто 30 балів.

Критерії екзаменаційного оцінювання

Семестровий контроль проводиться у формі письмового екзамену. Кожний екзаменаційний білет містить 2 питання (див. Додаток Б):

- 1 теоретичне питання, відповідь на яке вимагає розкриття окремої теми з теоретичного курсу. Ваговий бал – 20 балів.
- 1 питання практичного характеру, повна відповідь на яке вимагає розв'язання задачі. Ваговий бал – 20 балів.

Таким чином забезпечується розмір екзаменаційної шкали: 40 балів.

Система оцінювання теоретичного запитання:

- повна правильна відповідь, не менше 90% потрібної інформації – 18...20 балів;
- достатньо повна відповідь, не менше 75% потрібної інформації – 15...17 балів;
- відповідь неповна, але не менше 60% потрібної інформації – 12...14 балів;
- незадовільна відповідь – 0 балів.

Система оцінювання практичного запитання:

- повне безпомилкове розв'язування завдання – 18...20 балів;
- повне безпомилкове розв'язування завдання з несуттєвими неточностями – 15...17 балів;
- завдання виконано з певними недоліками, але дано не менше 60% від повного об'єму правильної відповіді – 12...14 балів;
- завдання не виконано – 0 балів.

Сума стартових балів і балів за письмовий екзамен переводиться до результуючої екзаменаційної оцінки згідно з таблицею 4:

Табл. 4. Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою

Кількість балів	Оцінка
95...100	відмінно
85...94	дуже добре
75...84	добре
65...74	задовільно
60...64	достатньо
< 60	незадовільно
< 30 або не виконані умови допуску до екзамену	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.

Робоча програма навчальної дисципліни (силабус):

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

Ухвалена кафедрою зварювального виробництва (протокол № 6 від 28.11.22)

Погоджена Методичною комісією НН ІМЗ ім. Є.О. Патона (протокол № 5/22 від 12.12.21)

Перелік питань до модульної контрольної роботи

1. Порівняйте типові діаграми напружень-деформацій для конструкційної сталі ферито-перлітного класу та високоміцної сталі мартенситного класу.
2. Що таке деформаційний мартенсит та які механізми його утворення ?
3. Назвіть металургійні механізми зміцнення сталей.
4. Твердість якої ділянки ЗТВ зварного з'єднання високоміцної сталі більша, ділянки відпуску, чи ділянки перегріву ?
5. Порівняйте типові термічні цикли повного відпалювання, нормалізації та гартування з наступним відпуском.
6. Для позначеної згідно ДСТУ EN 10027-1 високоміцної сталі, 30MnB5 розшифруйте хімічний склад, зазначивши середній вміст вуглецю, марганцю та бору.
7. Наведіть загальну класифікацію сталей за показниками міцності та пластичності, дайте коротку характеристику різних груп сталей.
8. Що означає число 690 в позначенні сталі S690Q ?
9. Дайте характеристику легувальним елементам в мікролегованих сталях підвищеної міцності, зазначивши їх вплив на властивості сталей.
10. До якої групи та підгрупи згідно ДСТУ CEN ISO/TR 15608 «Зварювання. Настанови щодо класифікації металевих матеріалів за групами» відносяться загартовані та відпущені сталі з границею плинності більше 690 МПа ?
11. Охарактеризуйте т. зв. VH-Steels (сталі з низькотемпературним старінням). Поясніть суть ефекту «Bake hardening».
12. Який з наведених елементів уповільнює відпуск загартованої сталі, Мо чи С ?
13. Охарактеризуйте т. зв. DP-Steels (двофазні високоміцні сталі).
14. Скільки у середньому містить хрому високоміцна сталь 34Cr4, позначена згідно ДСТУ EN 10027-1 ?
15. Охарактеризуйте т. зв. TRIP-сталі (високоміцні сталі з пластичністю, наведеною перетворенням).
16. Який з наведених легувальних елементів уповільнює відпуск загартованої сталі, Si чи Cr ?
17. Поясніть металургійний механізм зміцнення сталей через утворення твердого розчину. Розкрийте роль легувальних елементів Mn, Si, Cu.
18. Поясніть металургійний механізм зміцнення сталей через подрібнення зерна. Розкрийте роль легувальних елементів V, Nb, Zr, Ti.
19. Поясніть металургійний механізм зміцнення сталей через мультифазну структуру. Порівняйте фазовий склад DP- та TRIP-сталей.
20. Порівняйте структуру та властивості різних типів мартенситу в сталях. Охарактеризуйте структурні зміни під час відпуску мартенситу.
21. Порівняйте структуру типових ділянок ЗТВ зварних з'єднань низьковуглецевих та легованих високоміцних сталей.
22. Покажіть схематизований розподіл показників міцності та пластичності вздовж ЗТВ зварних з'єднань низьковуглецевих та легованих високоміцних сталей.
23. Поясніть оцінку зварності сталей за діаграмою Гравіля. Покажіть основні зони на діаграмі Гравіля та позначте типове розташування на них сталей різних класів.
24. Розкрийте роль розчиненого в металі шва водню в утворенні холодних тріщин.
25. Наведіть приклади водневих «пасток» в мікроструктурі сталі.

26. Порівняйте прогнозований вміст водню в зварному шві при застосуванні різних зварювальних матеріалів.

27. Розшифруйте позначення високоміцної сталі: S890QL1 (ДСТУ EN 10025-6).

28. Розшифруйте позначення високоміцної сталі: S960QL (ДСТУ EN 10025-6).

29. Розшифруйте позначення високоміцної сталі: P690QH (ДСТУ EN 10028-6).

30. Розшифруйте позначення високоміцної сталі: S620Q (ДСТУ EN 10028-6).

Приклади теоретичних питань до письмового екзамену

1. Наведіть класифікацію сучасних конструкційних сталей для автомобілебудування за показниками міцності та пластичності.
2. Порівняйте діаграми напруження-деформації сталей звичайної, підвищеної та високої міцності.
3. Охарактеризуйте склад, структуру та властивості автомобільних сталей звичайної міцності (IF- та Mild steels).
4. Охарактеризуйте склад, структуру та властивості автомобільних сталей підвищеної міцності (BH- та C-Mn-steels).
5. Охарактеризуйте склад, структуру та властивості мікролегованих та низьколегованих сталей підвищеної міцності (HSLA steels).
6. Охарактеризуйте склад, структуру та властивості двофазних та багатофазні сталей високої міцності (DP- та CP-steels).
7. Охарактеризуйте склад, структуру та властивості високоміцних сталей підвищеної пластичності (TRIP- та TWIP-steels).
8. Порівняйте механізми зміцнення сталей та наведіть приклади їх застосування при виробництві сучасних конструкційних сталей підвищеної міцності.
9. Порівняйте механізми підвищення пластичності високоміцних сталей на прикладі ПНП- та ПНД-сталей.
10. Порівняйте граничний вміст хімічних елементів в нелегованих та зварюваних дрібнозернистих конструкційних сталях згідно ДСТУ EN 10020.
11. Поясніть систему маркування сталей за призначенням та властивостями згідно до ДСТУ EN 10027-1.
12. Наведіть приклади маркування легованих високоміцних сталей за хімічним складом згідно ДСТУ EN 10027-1.
13. До яких груп за ДСТУ CEN ISO/TR 15608 «Зварювання. Настанови щодо класифікації металевих матеріалів за групами» належать леговані високоміцні сталі ?
14. Наведіть приклади конструкційних низьколегованих сталей для зварних конструкцій з границею міцності до 500 МПа, охарактеризуйте їх зварність.
15. Наведіть приклади мікролегованих конструкційних сталей з границею міцності до 700 МПа, охарактеризуйте їх зварність.
16. Наведіть приклади низьколегованих конструкційних бейніто-мартенситних сталей з границею міцності до 1000 МПа, охарактеризуйте їх зварність.
17. Наведіть приклади легованих високоміцних мартенсито-бейнітних сталей з границею міцності до 2000 МПа, охарактеризуйте їх зварність.
18. Наведіть приклади типові нероз'єднаних конструкційних високоміцних сталей в автомобілебудуванні та транспортному машинобудуванні.
19. Охарактеризуйте вплив термічного циклу зварювання на структуру та механічні властивості металу зварного з'єднання високоміцних DP-сталей.
20. Охарактеризуйте вплив термічного циклу зварювання на структуру та механічні властивості металу зварного з'єднання високоміцних CP-сталей.
21. Охарактеризуйте вплив термічного циклу зварювання на структуру та механічні властивості металу зварного з'єднання високоміцних TRIP-сталей.

22. Охарактеризуйте вплив термічного циклу зварювання на структуру та механічні властивості металу зварного з'єднання високоміцних TWIP-сталей.
23. Порівняйте способи та технології зварювання високоміцних сталей з мінімальним тепловкладенням в основний метал.
24. Наведіть переваги та недоліки контактного зварювання високоміцних сталей.
25. Наведіть переваги та недоліки зварювання високоміцних сталей в захисному газі пульсуючою дугою.
26. Наведіть переваги та недоліки лазерного зварювання високоміцних сталей.
27. Наведіть переваги та недоліки гібридного лазерно-дугового зварювання високоміцних сталей.
28. Порівняйте типи мартенситної структури за класифікацією міжнародного інституту зварювання.
29. Поясніть стадійність процесу відпуску мартенситу та охарактеризуйте структури відпуску.
30. Порівняйте структуру зони термічного впливу легованих сталей мартенсито-бейнітного класу та низьковуглецевих сталей.
31. Поясніть вплив структурної неоднорідності зварних з'єднань високоміцних сталей на їх механічну неоднорідність.
32. Обґрунтуйте вплив хімічного складу легованої високоміцної сталі на ступінь механічної неоднорідності її зварних з'єднань.
33. Поясніть причини та механізми утворення холодних тріщин в зварних з'єднаннях високоміцних сталей.
34. Поясніть вплив дифузійного водню на утворення холодних тріщин та назвіть джерела водню в реакційній зоні зварювання.
35. Порівняйте методи випробування опірності зварних з'єднань до холодних тріщин згідно ISO 17642 та ГОСТ 26388.
36. Обґрунтуйте вимоги до теплового режиму зварювання високоміцних загартованих та відпущених сталей.
37. Назвіть фактори впливу на температуру попереднього підігрівання при зварюванні високоміцних сталей згідно ДСТУ ISO/TR 17671-2.
38. Охарактеризуйте вимоги до властивостей спеціальних сталей для виготовлення зварних корпусів бойових броньованих машин. Наведіть класифікацію броньових сталей за твердістю.
39. Поясніть вплив твердості сталевих броні на її балістичну стійкість.
40. Наведіть схему типового розподілу твердості в ЗТВ зварних з'єднань броньових сталей та охарактеризуйте структуру відповідних ділянок ЗТВ.
41. Поясніть вплив механічної неоднорідності зварних з'єднань броньових сталей на їх балістичну стійкість.
42. Охарактеризуйте зварювальні матеріали та типи з'єднань зварних корпусів військової бронетехніки.
43. Обґрунтуйте вимоги до типового технологічного процесу зварювання броньових складальних одиниць для військових гусеничних та колісних машин.
44. Наведіть методи контролю якості зварних з'єднань броньових сталей, типові дефекти та способи їх виправлення.
45. Порівняйте відомі Вам шляхи підвищення балістичної стійкості зварних з'єднань броньових сталей.

Приклади практичних задач до письмового екзамену

1. Для сталі, що має вихідний розмір зерна 10 мкм та нижченаведений хімічний склад (% мас.):

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Ti	B
0.24	0.3	0.9	0.006	0.002	0.25	0.1	0.03	0.01	0.03	0.0025

розрахувати кінцеву (після повного охолодження) твердість ділянки ЗТВ, що нагрівалась до температури 1250 °C зі швидкістю 200 °C/c та охолоджувалась зі швидкістю 2 °C/c. Значення твердості (hardness) представити за шкалою Роквела (HRC).

2. Для сталі, що має вихідний розмір зерна 10 мкм та нижченаведений хімічний склад (% мас.):

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Ti	B
0.24	0.3	0.9	0.006	0.002	0.25	0.1	0.03	0.01	0.03	0.0025

розрахувати кінцеву (після повного охолодження) твердість ділянки ЗТВ, що нагрівалась до температури 1250 °C зі швидкістю 200 °C/c та охолоджувалась зі швидкістю 5 °C/c. Значення твердості (hardness) представити за шкалою Роквела (HRC).

3. Для сталі, що має вихідний розмір зерна 10 мкм та нижченаведений хімічний склад (% мас.):

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Ti	B
0.24	0.3	0.9	0.006	0.002	0.25	0.1	0.03	0.01	0.03	0.0025

розрахувати кінцеву (після повного охолодження) твердість ділянки ЗТВ, що нагрівалась до температури 1250 °C зі швидкістю 200 °C/c та охолоджувалась зі швидкістю 10 °C/c. Значення твердості (hardness) представити за шкалою Роквела (HRC).

4. Для сталі, що має вихідний розмір зерна 10 мкм та нижченаведений хімічний склад (% мас.):

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Ti	B
0.24	0.3	0.9	0.006	0.002	0.25	0.1	0.03	0.01	0.03	0.0025

розрахувати кінцеву (після повного охолодження) твердість ділянки ЗТВ, що нагрівалась до температури 1250 °C зі швидкістю 200 °C/c та охолоджувалась зі швидкістю 15 °C/c. Значення твердості (hardness) представити за шкалою Роквела (HRC).

5. Для сталі, що має вихідний розмір зерна 10 мкм та нижченаведений хімічний склад (% мас.):

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Ti	B
0.24	0.3	0.9	0.006	0.002	0.25	0.1	0.03	0.01	0.03	0.0025

розрахувати кінцеву (після повного охолодження) твердість ділянки ЗТВ, що нагрівалась до температури 1250 °C зі швидкістю 200 °C/c та охолоджувалась зі швидкістю 20 °C/c. Значення твердості (hardness) представити за шкалою Роквела (HRC).

6. Для сталі, що має вихідний розмір зерна 10 мкм та нижченаведений хімічний склад (% мас.):

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Ti	B
0.24	0.3	0.9	0.006	0.002	0.25	0.1	0.03	0.01	0.03	0.0025

розрахувати кінцеву (після повного охолодження) твердість ділянки ЗТВ, що нагрівалась до температури 1250 °С зі швидкістю 200 °С/с та охолоджувалась зі швидкістю 30 °С/с. Значення твердості (hardness) представити за шкалою Роквела (HRC).

7. Для сталі, що має вихідний розмір зерна 10 мкм та нижченаведений хімічний склад (% мас.):

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Ti	B
0.24	0.3	0.9	0.006	0.002	0.25	0.1	0.03	0.01	0.03	0.0025

розрахувати кінцеву (після повного охолодження) границю плинності ділянки ЗТВ, що нагрівалась до температури 1250 °С зі швидкістю 200 °С/с та охолоджувалась зі швидкістю 2 °С/с. Значення границі плинності (yield stress) представити в МПа.

8. Для сталі, що має вихідний розмір зерна 10 мкм та нижченаведений хімічний склад (% мас.):

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Ti	B
0.24	0.3	0.9	0.006	0.002	0.25	0.1	0.03	0.01	0.03	0.0025

розрахувати кінцеву (після повного охолодження) границю плинності ділянки ЗТВ, що нагрівалась до температури 1250 °С зі швидкістю 200 °С/с та охолоджувалась зі швидкістю 5 °С/с. Значення границі плинності (yield stress) представити в МПа.

9. Для сталі, що має вихідний розмір зерна 10 мкм та нижченаведений хімічний склад (% мас.):

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Ti	B
0.24	0.3	0.9	0.006	0.002	0.25	0.1	0.03	0.01	0.03	0.0025

розрахувати кінцеву (після повного охолодження) границю плинності ділянки ЗТВ, що нагрівалась до температури 1250 °С зі швидкістю 200 °С/с та охолоджувалась зі швидкістю 10 °С/с. Значення границі плинності (yield stress) представити в МПа.

10. Для сталі, що має вихідний розмір зерна 10 мкм та нижченаведений хімічний склад (% мас.):

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Ti	B
0.24	0.3	0.9	0.006	0.002	0.25	0.1	0.03	0.01	0.03	0.0025

розрахувати кінцеву (після повного охолодження) границю плинності ділянки ЗТВ, що нагрівалась до температури 1250 °С зі швидкістю 200 °С/с та охолоджувалась зі швидкістю 15 °С/с. Значення границі плинності (yield stress) представити в МПа.

11. Для сталі, що має вихідний розмір зерна 10 мкм та нижченаведений хімічний склад (% мас.):

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Ti	B
---	----	----	---	---	----	----	----	---	----	---

0.24	0.3	0.9	0.006	0.002	0.25	0.1	0.03	0.01	0.03	0.0025
------	-----	-----	-------	-------	------	-----	------	------	------	--------

розрахувати кінцеву (після повного охолодження) границю плинності ділянки ЗТВ, що нагрівалась до температури 1250 °С зі швидкістю 200 °С/с та охолоджувалась зі швидкістю 20 °С/с. Значення границі плинності (yield stress) представити в МПа.

12. Для сталі, що має вихідний розмір зерна 10 мкм та нижченаведений хімічний склад (% мас.):

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Ti	B
0.24	0.3	0.9	0.006	0.002	0.25	0.1	0.03	0.01	0.03	0.0025

розрахувати кінцеву (після повного охолодження) границю плинності ділянки ЗТВ, що нагрівалась до температури 1250 °С зі швидкістю 200 °С/с та охолоджувалась зі швидкістю 30 °С/с. Значення границі плинності (yield stress) представити в МПа.

13. Для сталі, що має вихідний розмір зерна 10 мкм та нижченаведений хімічний склад (% мас.):

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Ti	B
0.24	0.3	0.9	0.006	0.002	0.25	0.1	0.03	0.01	0.03	0.0025

розрахувати кінцеву (після повного охолодження) границю міцності ділянки ЗТВ, що нагрівалась до температури 1250 °С зі швидкістю 200 °С/с та охолоджувалась зі швидкістю 2 °С/с. Значення границі міцності (tensile stress) представити в МПа.

14. Для сталі, що має вихідний розмір зерна 10 мкм та нижченаведений хімічний склад (% мас.):

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Ti	B
0.24	0.3	0.9	0.006	0.002	0.25	0.1	0.03	0.01	0.03	0.0025

розрахувати кінцеву (після повного охолодження) границю міцності ділянки ЗТВ, що нагрівалась до температури 1250 °С зі швидкістю 200 °С/с та охолоджувалась зі швидкістю 5 °С/с. Значення границі міцності (tensile stress) представити в МПа.

15. Для сталі, що має вихідний розмір зерна 10 мкм та нижченаведений хімічний склад (% мас.):

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Ti	B
0.24	0.3	0.9	0.006	0.002	0.25	0.1	0.03	0.01	0.03	0.0025

розрахувати кінцеву (після повного охолодження) границю міцності ділянки ЗТВ, що нагрівалась до температури 1250 °С зі швидкістю 200 °С/с та охолоджувалась зі швидкістю 10 °С/с. Значення границі міцності (tensile stress) представити в МПа.

16. Для сталі, що має вихідний розмір зерна 10 мкм та нижченаведений хімічний склад (% мас.):

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Ti	B
0.24	0.3	0.9	0.006	0.002	0.25	0.1	0.03	0.01	0.03	0.0025

розрахувати кінцеву (після повного охолодження) границю міцності ділянки ЗТВ, що нагрівалась до температури 1250 °С зі швидкістю 200 °С/с та охолоджувалась зі швидкістю 15 °С/с. Значення границі міцності (tensile stress) представити в МПа.

17. Для сталі, що має вихідний розмір зерна 10 мкм та нижченаведений хімічний склад (% мас.):

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Ti	B
0.24	0.3	0.9	0.006	0.002	0.25	0.1	0.03	0.01	0.03	0.0025

розрахувати кінцеву (після повного охолодження) границю міцності ділянки ЗТВ, що нагрівалась до температури 1250 °С зі швидкістю 200 °С/с та охолоджувалась зі швидкістю 20 °С/с. Значення границі міцності (tensile stress) представити в МПа.

18. Для сталі, що має вихідний розмір зерна 10 мкм та нижченаведений хімічний склад (% мас.):

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Ti	B
0.24	0.3	0.9	0.006	0.002	0.25	0.1	0.03	0.01	0.03	0.0025

розрахувати кінцеву (після повного охолодження) границю міцності ділянки ЗТВ, що нагрівалась до температури 1250 °С зі швидкістю 200 °С/с та охолоджувалась зі швидкістю 30 °С/с. Значення границі міцності (tensile stress) представити в МПа.