



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>Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>Заочна, змішана, дистанційна</i>
Рік підготовки, семестр	<i>I курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>150 год/5 кредитів ЄКТС; лекції – 14 год., практичні – 4 год., СРС – 132 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	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=3554</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Прагнення зменшення ваги та металоємності зварних конструкцій, зростання вимог до експлуатаційних умов виробів промислового та цивільного будівництва, важкого, транспортного та спеціального машинобудування, енергетичного сектору промисловості обумовлюють надзвичайно широкі межі застосування високоміцних сталей у сучасному зварювальному виробництві. Колони, ферми, балки будівельних споруд, в т. ч. мостів та естакад, несучі елементи морських нафто- та газодобувних платформ, елементи турбін, гідро- та турбогенераторів, вежі повітряно-генераторних станцій, стріли автокранів, рами та силові деталі вантажних автомобілів, сільськогосподарської та гірничодобувної техніки, корпуси військової бронетехніки являють собою типові приклади зварних конструкцій з високоміцних сталей. Актуальність вивчення дисципліни «Зварювання високоміцних сталей» також обумовлена повною гармонізацією вітчизняних стандартів зі зварювання з міжнародними, а також постійним збільшенням номенклатури високоміцних сталей закордонного виробництва на українському ринку, в т.ч. спеціальних сталей, призначених до виготовлення зварних корпусів військової бронетехніки.

У зв'язку із цим дисципліна «Зварювання високоміцних сталей» відіграє важливу роль у підготовці магістрів за ОПП «Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій» та формуванні у них необхідних для майбутньої інженерно-наукової діяльності компетентностей.

Метою навчальної дисципліни «Зварювання високоміцних сталей» є формування у студентів здатностей застосовувати сучасні розрахункові методи прогнозування структури, властивостей металу зварних з'єднань високоміцних сталей та обґрунтовано вживати технологічні і металургійні заходи з попередження можливих дефектів, під час розробки технологічних процесів електродугового зварювання елементів та конструкцій з легованих високоміцних та броньових сталей.

Предмет курсу.

В результаті вивчення курсу студенти мають здобути уміння та досвід:

- застосовувати метод термодинамічного розрахунку рівноважного стану системи 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.

Загалом вивчення дисципліни «Зварювання високоміцних сталей» спрямоване на підсилення та розвиток у студентів певних компетентностей, які передбачені освітньою програмою «Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій» другого (магістерського) рівня вищої освіти.

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 5 Здатність застосовувати відповідні математичні, наукові і технічні методи, інформаційні технології та прикладне комп'ютерне програмне забезпечення для вирішення інженерних і наукових завдань в зварюванні, лазерних та споріднених технологіях.

ФК 6 Здатність на основі аналізу ризиків при з'єднанні важкозварюваних матеріалів обирати оптимальні технологічні рішення виготовлення конструкцій за допомогою зварювання, лазерних та споріднених технологій та забезпечувати якість з'єднань з різномірних матеріалів та сплавів з незадовільною здатністю до зварювання.

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

РН 12 Визначати та оцінювати ризики при з'єднанні важкозварюваних матеріалів та конструкцій з урахуванням умов експлуатації, розробляти та виконувати заходи щодо підвищення безпеки виробів.

РН 13 Обирати та розробляти технологічні та технічні рішення для зварювання виробів в специфічних (незвичайних) умовах, розробляти та реалізовувати технології отримання якісних зварних з'єднань та важкозварюваних конструкцій з різномірних матеріалів та сплавів з незадовільною здатністю до зварювання.

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

Навчальна дисципліна є складовою освітньої програми «Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій» другого (магістерського) рівня вищої освіти, має статус вибіркової компоненти і належить до циклу професійної підготовки. Зміст даного освітнього компонента базується на матеріалі, який студенти попередньо вже вивчали в таких дисциплінах як «Матеріалознавство», «Механіка матеріалів і конструкцій», «Теорія процесів зварювання», «Технології та устаткування зварювання плавленням, лазерних та споріднених процесів», «Здатність до зварювання конструкційних матеріалів», «Виробництво конструкцій». Знання, отримані при вивченні даної дисципліни використовуються студентами при підготовці курсових проектів і робіт та магістерських дисертацій, що виконуються за напрямом досліджень зварності високоміцних сталей та розроблення технології складання та зварювання виробів з цих матеріалів.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА, КЛАСИФІКАЦІЯ ТА МАРКУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ ПІДВИЩЕНОЇ ТА ВИСОКОЇ МІЦНОСТІ

Розділ 2. ЗВАРЮВАННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ ПІДВИЩЕНОЇ ТА ВИСОКОЇ МІЦНОСТІ

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література:

1. Зварювання високоміцних сталей. Практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра за освітніми програмами «Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій» та «Прикладна механіка» спеціальності 131 Прикладна механіка / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. О. А. Сливінський. – Електронні текстові дані (1 файл: 11,27 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 70 с.
2. ДСТУ ISO/TR 17671-2:2015. «Зварювання. Рекомендації щодо зварювання металевих матеріалів. Частина 2. Дугове зварювання феритних сталей». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.leonorm.lviv.ua/portal/Default.php?Page=login&ContinueURL=/Default.php?Page=stfull!_!ObjId=21549&ispaid=1.

Додаткова література:

3. Fonstein N. Advanced High Strength Sheet Steels: Physical Metallurgy, Design, Processing and Properties / N. Fonstein. – Springer, 2015. – 396 p.
4. Rana R. Automotive Steels. Design, Metallurgy, Processing and Applications / R. Rana, S. B. Singh. – Woodhead Publishing, 2017. – 469 p.
5. Shome M. Welding and Joining of Advanced High Strength Steels (AHSS) / M. Shome, M. Tumuluru. – Woodhead Publishing, 2015. – 204 p.
6. Bhadeshia H. Steels: Microstructure and Properties / H. Bhadeshia, R. Honeycombe. – 4th Edition. – Elsevier Ltd, 2017. – 488 p.
7. Krauss G. Steels: Processing, Structure, and Performance / G. Krauss. – 2nd Edition. – ASM International, 2015. – 682 p.
8. Phillips D. Welding Engineering: An Introduction / D. Phillips. – 1st Edition. – Wiley, 2016. – 296 p.
9. Crouch I. The Science of Armour Materials / I. Crouch. – Woodhead Publishing, 2016. – 754 p.

10. ДСТУ CEN ISO/TR 15608:2015 «Зварювання. Настанови щодо класифікації металевих матеріалів за групами». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id_doc=82022.
11. ДСТУ EN 10020:2007 «Сталі. Визначення й класифікація». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.ksv.biz.ua/GOST/DSTU_ALL/DSTU2/dstu_EN_10020-2007.pdf.
12. ДСТУ EN 10027-1:2004 «Сталь. Системи позначання. Частина 1. Назви сталі. Основні символи». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=65341.
13. 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». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=60866.
14. ДСТУ EN 10028-6:2016 «Вироби пласкі сталеві для використання під тиском. Частина 6. Зварювані загартовані та відпущені дрібнозернисті сталі». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=71384.
15. ISO 17642-2 «Destructive tests on welds in metallic materials. Cold cracking tests for weldments. Arc welding processes. Part 2: Self-restraint tests». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id_doc=85662.
16. ISO 17642-3 «Destructive tests on welds in metallic materials. Cold cracking tests for weldments. Arc welding processes. Part 3: Externally loaded tests». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id_doc=85663.
17. Науково-технічні підходи до вирішення актуальних проблем розбудови сектору безпеки і оборони: кол. монографія / І. Б. Чепков, С. П. Бісик, О. Ю. Миронюк, О. А. Сливінський [та ін.]; заг. ред. проф. А. П. Марченка. Одеса : Видав. дім «Гельветика», 2021. – 324 с. – Режим доступу: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/54704>.

Навчальний посібник [1] студенти можуть завантажити з електронного кампусу. Некомерційні версії стандартів [2, 10-16] студенти можуть отримати в Бібліотеці стандартів ДП «Міжгалузевого учбово-атестаційного центру ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України», розташованій в 23 корпусі КПІ ім. Ігоря Сікорського. Монографія [17] наявна в електронному репозиторії Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" у вільному доступі.

Навчальний контент

5. Методика опанування освітнього компонента

В межах вивчення освітнього компоненту впродовж семестру заплановано проведення лекційних, практичних занять та модульної контрольної роботи (МКР). Видом семестрового контролю є письмовий екзамєн.

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

Розділи та контрольні заходи	Всього годин	Розподіл годин за видами занять		
		Лекції	Практичні заняття	СР С
Розділ 1.	48	6	2	40
Розділ 2.	69	7	2	60
<i>МКР</i>	3	1	-	2

Екзамен	30	-	-	30
Всього	150	14	4	132

Табл. 2. Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань
1.	Класифікація сталей за міцністю та відповідно до чинних міжнародних стандартів. Маркування сталей за ДСТУ EN 10025, ДСТУ EN 10027-1. Література [3-5, 10-14]
2.	Металургійні механізми зміцнення вуглецевих та легованих сталей. Технології термічної та термомеханічної обробки сталевих прокату та їх вплив на структуру та механічні властивості конструкційних сталей. Література [6, с. 23-54, 271-287; 7, с. 249-256]
3.	Регулювання механічних властивостей сталей шляхом створення мультифазної структури: двофазні (DP-steels) та багатофазні (CP-steels). Механізми підвищення пластичності високоміцних сталей. Пластичність наведена перетворенням та пластичність наведена двійникуванням. ПНП-сталі (TRIP-steels) та ПНД-сталі (TWIP-steels). Література [3, с. 187-202; 4, с. 249-256]
4.	Зварність та технології зварювання конструкційних низьколегованих сталей підвищеної та високої міцності. Література [1, с. 5-25, 7, с. 99-125]
5.	Типові нероз'ємні з'єднання конструкційних високоміцних сталей в автомобілебудуванні та транспортному машинобудуванні. Вплив термічного циклу зварювання на структуру та механічні властивості металу зварного з'єднання високоміцних DP-, CP- TRIP та TWIP-сталей. Література [3-5]
6.	Зварність та технології зварювання легованих сталей з границею міцності більше 1300 МПа. Література [8, с. 55-92]
7.	Особливості технології дугового зварювання броньових сталей. Література [9, с. 76-88, 90-92; 17, с. 5-23]

Табл. 3. Практичні заняття

№ з/п	Назва теми та перелік основних питань	Кількість ауд. годин	Кількість годин СРС
1	Розрахунок температури попереднього підігрівання при зварюванні нелегованих, дрібнозернистих та низьколегованих сталей підвищеної міцності.	2	4
2	Розрахунок температури попереднього підігрівання при зварюванні високоміцних конструкційних сталей з границею плинності до 1000 МПа.	2	4

6. Самостійна робота студента

Самостійна робота студента полягає у підготовці до лекційних і практичних занять (100 год.), а також до модульної контрольної роботи (2 год.) та екзамену (30 год.) шляхом опрацювання рекомендованої літератури та підготовки відповідей на контрольні запитання.

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 опановувати 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 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 (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 екзамену 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.

Для розрахунку температури попереднього підігрівання при зварюванні конструкційних високоміцних сталей навчальним планом передбачені практичні заняття (4 акад. годин).

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 на МКР 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.

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 PCO освітнього компоненту.

Рейтингова система оцінювання та критерії нарахування вагових балів:

1. Практичні заняття

Ваговий бал – 15. Максимальна кількість балів, які можна отримати за виконання 2-х задач: $15 \times 2 = 30$ балів;

За кожне практичне заняття студент може отримати від 0 до 15 балів:

- повна правильна відповідь усі показники розраховано вірно – 15 балів;
- достатньо повна відповідь з незначними неточностями – 12...14 бали;
- відповідь неповна, частина розрахованих даних помилкова – 9...11 балів;
- незадовільна відповідь – 0 балів.

2. Модульний контроль

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

- повна правильна відповідь – 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.

Умови допуску до семестрового контролю

Максимальна сума балів стартової складової рейтингу (до початку сесії): 60 балів. Необхідною умовою допуску до екзамену є виконання студентом усіх практичних завдань та МКР, 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.

За умови навчання в дистанційному режимі виконане екзаменаційне завдання надсилається студентами на електронну пошту або телеграм-акаунт викладача у визначений час.

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	Екзаменаційна 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. Консультування та обмін необхідною інформацією з дисципліни (виконані завдання з практичних занять та МКР) 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 28.11.2022)

Погоджено Методичною комісією інституту НН ІМЗ ім. Є.О. Патона (протокол №5/22 від 12.12.2022)

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. BH-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'ємних з'єднань 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 контроль 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/с та охолоджувалась зі швидкістю 5 °C/с. 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/с та охолоджувалась зі швидкістю 10 °C/с. 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/с та охолоджувалась зі швидкістю 15 °C/с. 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/с та охолоджувалась зі швидкістю 20 °C/с. 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 °C зі швидкістю 200 °C/с та охолоджувалась зі швидкістю 30 °C/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 °C зі швидкістю 200 °C/с та охолоджувалась зі швидкістю 2 °C/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 °C зі швидкістю 200 °C/с та охолоджувалась зі швидкістю 5 °C/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 °C зі швидкістю 200 °C/с та охолоджувалась зі швидкістю 10 °C/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 °C зі швидкістю 200 °C/с та охолоджувалась зі швидкістю 15 °C/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 °C зі швидкістю 200 °C/с та охолоджувалась зі швидкістю 20 °C/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 °C зі швидкістю 200 °C/c та охолоджувалась зі швидкістю 30 °C/c. 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 °C зі швидкістю 200 °C/c та охолоджувалась зі швидкістю 2 °C/c. 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 °C зі швидкістю 200 °C/c та охолоджувалась зі швидкістю 5 °C/c. 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 °C зі швидкістю 200 °C/c та охолоджувалась зі швидкістю 10 °C/c. 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 °C зі швидкістю 200 °C/с та охолоджувалась зі швидкістю 15 °C/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 °C зі швидкістю 200 °C/с та охолоджувалась зі швидкістю 20 °C/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 °C зі швидкістю 200 °C/с та охолоджувалась зі швидкістю 30 °C/с. Значення границі міцності (tensile stress) представити в МПа.