

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ЗПО «ДІТК»



Олександр СТРИЛЕЦЬ

31.08.2025 р.

ПОГОДЖЕНО

Заступник директора з навчально-методичної роботи ЗПО «ДІТК»

Сергій ГОРДІЄНКО

31.08.2025 р.

РОЗШИРЕНИЙ КОМПЛЕКСНИЙ БАНК РІЗНОРІВНЕВИХ ЕКЗАМЕНАЦІЙНИХ ПИТАНЬ, ІНЖЕНЕРНИХ ЗАДАЧ ТА ПРАКТИЧНИХ КЕЙСІВ ДЛЯ ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ З ДИСЦИПЛІНИ ОК 20 «ВИГОТОВЛЕННЯ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ»

Рівень освіти: Фахова передвища освіта (ОПС «Фаховий молодший бакалавр») **Галузь знань:** 13 Механічна інженерія (Г Інженерія, виробництво та будівництво) **Спеціальність:** 131 Прикладна механіка **Освітньо-професійна програма:** «Зварювальне виробництво»

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ДЛЯ ЕКЗАМЕНАТОРІВ

Цей документ є вичерпним банком екзаменаційних завдань, розробленим для верифікації фахових компетентностей здобувачів освіти. Екзаменаційний білет формується з трьох рівневих блоків. Максимальна оцінка за білет — 30 балів (додається до 70 балів поточного семестрового контролю).

Протокол психологічної безпеки (Trauma-Informed Approach):

Екзаменатор зобов'язаний забезпечити екологічне середовище. У разі виникнення у здобувача (особливо з числа ветеранів) тривожності або ступору під час усного захисту практичного кейсу (Блок 3), завдання негайно переводиться у формат письмової відповіді з наданням додаткового часу (до 20 хвилин) без зниження підсумкового бала. Забороняється тиск швидкістю відповіді. Під час обговорення причин руйнування металоконструкцій акцент робиться виключно на фізико-металургійних та розрахункових факторах.

БЛОК 1. РЕПРОДУКТИВНО-АНАЛІТИЧНИЙ РІВЕНЬ (ТЕОРЕТИЧНИЙ ДОМЕН)

Перевірка фундаментальних знань фізико-механічних процесів, матеріалознавства та нормативної бази. У білет обирається 2 питання (по 5 балів кожне). Наведено очікувані ключові елементи еталонної відповіді.

Розділ 1.1. Основи проєктування та розрахунку

1. **Питання:** Наведіть класифікацію зварних конструкцій за галузевим призначенням та конструктивними ознаками (типом перерізу).

○ *Очікувана відповідь:* Галузеві: будівельні (ферми, колони), машинобудівні (станіни, рами), оболонкові (резервуари, труби), аерокосмічні. За перерізом: суцільностінні (балки), гратчасті (ферми), оболонкові.

2. **Питання:** Охарактеризуйте види зварних з'єднань (стикові, кутові, таврові, напусткові). Які їхні переваги та недоліки з точки зору розподілу силових потоків?

○ *Очікувана відповідь:* Стикові — найнадійніші, силовий потік прямий, мінімум концентрації напружень. Напусткові — технологічні (не потребують точної підгонки), але створюють злам осі зусиль і згинальний момент. Таврові і кутові — для просторових конструкцій, працюють на зріз і згин.

3. **Питання:** Поясніть інженерне поняття «допустимі напруження». Які нормативні коефіцієнти впливають на їхній вибір згідно з ДБН?

○ *Очікувана відповідь:* Допустиме напруження $[\sigma]$ — це межа текучості металу, поділена на нормативні коефіцієнти. Враховуються коефіцієнт надійності за матеріалом (γ_m) та коефіцієнт умов роботи конструкції (γ_c).

4. **Питання:** Що таке концентрація напружень у зварних з'єднаннях? Як форма шва та наявність дефектів впливають на віброміцність?

○ *Очікувана відповідь:* Концентрація — локальне зростання напружень у місцях різкої зміни геометрії. Опуклість шва, підрізи, непровари є гострими концентраторами. Вони різко знижують межу витривалості при циклічних навантаженнях, ініціюючи втомні тріщини.

5. **Питання:** Назвіть конструктивні та технологічні методи підвищення витривалості зварних з'єднань при динамічних навантаженнях.

○ *Очікувана відповідь:* Конструктивні: плавні переходи перерізів, уникнення напусткових з'єднань. Технологічні: механічне шліфування швів урівень з основним металом, аргонодугове оплавлення країв шва, поверхнєве пластичне деформування (проковування).

Розділ 1.2. Технологічність та зварювальні деформації 6. **Питання:** Розкрийте фізичну суть виникнення термдеформаційного циклу. Чому виникає поздовжня та поперечна усадка металу шва? *

Очікувана відповідь: Локальне нагрівання металу призводить до його розширення, якому перешкоджають холодні зони. Виникає пластичне стиснення. При охолодженні метал скорочується (усадка), але зв'язок з холодною масою спричиняє залишкові напруження розтягу у шві та стиску в основному металі.

7. **Питання:** Назвіть та обґрунтуйте три конструктивні та три технологічні методи запобігання зварювальним деформаціям. *

Очікувана відповідь: Конструктивні: симетрія швів, мінімізація перерізу швів, відмова від перехреснування. Технологічні: метод зворотного вигину, жорстке закріплення в кондукторі, зворотно-ступінчастий метод накладання швів.

8. **Питання:** Охарактеризуйте ефективність застосування високого відпуску та методу вібраційної обробки (VSR) для зняття залишкових напружень у масивних станинах. *

Очікувана відповідь: Високий відпуск ($600-650^\circ\text{C}$) знижує межу текучості, викликаючи пластичну релаксацію напружень (висока енергоємність). VSR — накладання резонансних механічних коливань.

Енергоефективна, швидка екологічна альтернатива, виконується безпосередньо в цеху.

9. **Питання:** Дайте визначення технологічності зварної конструкції. Які критерії визначають економічну доцільність виготовлення вузла? *

Очікувана відповідь: Здатність конструкції бути виготовленою з мінімальними витратами часу та ресурсів при заданій якості. Критерії:

використання стандартного прокату, зручність доступу для автоматичного зварювання,

мінімальна кількість деталей, мінімальний об'єм наплавленого металу.

10. **Питання:** Що таке еквівалент вуглецю (SC_{eq})? Як він застосовується для оцінки зварюваності сталей? *

Очікувана відповідь: Емпіричний показник, що враховує вплив вуглецю та легуючих елементів (Mn, Cr, Mo) на схильність сталі до гартування та утворення холодних тріщин.

Якщо $SC_{eq} < 0.4\%$, сталь зварюється добре. Якщо вище — потрібен попередній підігрів.

Розділ 1.3. Організація виробництва та контроль якості 11. **Питання:** Назвіть класифікацію спеціалізованого складально-зварювального оснащення.

Поясніть різницю між маніпулятором, позиціонером та кантувачем. *

Очікувана відповідь: Кантувач обертає деталь лише навколо однієї (горизонтальної) осі. Позиціонер має планшайбу, що обертається і нахиляється. Маніпулятор — переміщує зварювальний апарат (колонний маніпулятор) або багатоосовий промисловий робот.

12. **Питання:** Що таке маршрутна та операційна технологічна карта? Яка інформація в них міститься? *

Очікувана відповідь: Маршрутна карта — загальний перелік цехів і операцій. Операційна карта — детальний покроковий алгоритм для конкретного робочого місця (установи, переходи, режими зварювання, марки матеріалів, норми часу).

13. **Питання:** Перелічіть основні методи неруйнівного контролю (NDT). Поясніть фізичний принцип дії ультразвукової дефектоскопії (УЗД). *

Очікувана відповідь: Візуальний, капілярний, магнітопорошковий, УЗД, радіографічний. Принцип УЗД: п'єзoelement

випромінює високочастотну акустичну хвилю, яка відбивається від дефекту (непровару) або донного краю деталі і повертається на приймач, формуючи пік на екрані. 14. **Питання:** Охарактеризуйте фізичний принцип капілярної (кольорової) дефектоскопії. Для яких дефектів вона застосовується? * *Очікувана відповідь:* Застосовується виключно для поверхневих дефектів (мікротріщин, пор). Заснована на капілярному проникненні яскравої рідини (пенетранту) у порожнини. Після видалення надлишків наноситься білий проявник, який витягує пенетрант, створюючи яскравий контрастний індикаторний слід. 15. **Питання:** Які системи автоматизованого проєктування (САПР) застосовуються у підготовці зварювального виробництва? Поясніть функції CAD, CAM та CAE систем. * *Очікувана відповідь:* CAD — створення 3D-моделей та креслень. CAM — генерування керуючих програм (G-кодів) для машин термічного різання або зварювальних роботів. CAE — інженерний аналіз методом скінченних елементів (симуляція міцності, розрахунок термодеоформаційних циклів).

БЛОК 2. КОНСТРУКТИВНИЙ РІВЕНЬ (РОЗРАХУНКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ДОМЕН)

Перевірка вміння застосовувати математичний апарат опору матеріалів та будівельної механіки. Максимальна оцінка — 10 балів (обирається 1 розрахункова задача). Екзаменатор перевіряє не лише фінальну цифру, а й логіку (алгоритм) інженерного мислення.

16. Задача на статичну міцність стикового з'єднання:

Умова: Дві сталеві смуги товщиною $S = 16$ мм і шириною $B = 200$ мм з'єднані прямим стиковим швом. Зварювання автоматичне під флюсом, повний контроль якості (УЗД 100%). Межа текучості сталі $\sigma_T = 345$ МПа. Коефіцієнт надійності за матеріалом $\gamma_m = 1.05$, коефіцієнт умов роботи $\gamma_c = 1.0$. Визначте максимальне безпечне розтягувальне зусилля $F_{\max}$, яке може витримати це з'єднання.

Алгоритм розв'язання:

1. Визначення розрахункового опору основного металу: $R_y = \sigma_T / \gamma_m = 345 / 1.05 \approx 328.5$ МПа.
2. Оскільки зварювання автоматичне з контролем якості, розрахунковий опір шва дорівнює опору основного металу: $R_{wy} = R_y$.
3. Розрахункова площа перерізу шва: $A = S \cdot L = 16 \cdot 200 = 3200$ мм² (вивідні планки припускаються, тому довжина шва дорівнює ширині пластини).
4. Максимальне зусилля: $F_{\max} = A \cdot R_{wy} \cdot \gamma_c = 3200 \cdot 328.5 = 1\,051\,200$ Н = 1051.2 кН.

17. Задача на розрахунок кутових швів на зріз (флангові шви):

Умова: Опорна консоль приварена до сталевій колони двома симетричними фланговими кутовими швами. На консоль діє вертикальне зрізувальне навантаження $P = 350$ кН. Розрахунковий опір кутового шва на зріз $R_{wf} = 180$ МПа. Катет шва $K = 10$ мм. Визначте необхідну розрахункову довжину одного флангового шва L_w .

Алгоритм розв'язання:

1. Умова міцності кутового шва на зріз: $\tau = P / (2 \cdot 0.7 \cdot K \cdot L_w) \leq R_{wf}$.
2. Виражаємо необхідну довжину шва: $L_w = P / (2 \cdot 0.7 \cdot K \cdot R_{wf})$.
3. Підставляємо значення: $L_w = 350\,000 \text{ Н} / (2 \cdot 0.7 \cdot 10 \cdot 180) = 350\,000 / 2520 \approx 138.8$ мм.
4. Конструктивне рішення: Приймаємо розрахункову довжину 140 мм. Додаємо 10 мм на непровар кратерів. Фактична довжина шва, що вказується на кресленні, становить 150 мм.

18. Задача на складний напружений стан (Таврове з'єднання):

Умова: Консольна балка двотаврового перерізу жорстко приварена до стіни кутовими швами по контуру. На вільному кінці діє зосереджена сила $Q = 80 \text{ кН}$. Довжина консолі $L = 1000 \text{ мм}$. Відомий момент опору перерізу швів $W_{ш} = 500 \text{ см}^3$, площа перерізу швів $A_{ш} = 60 \text{ см}^2$. Визначте максимальні еквівалентні напруження у зварних швах за IV теорією міцності.

Алгоритм розв'язання:

1. Визначення внутрішніх силових факторів у небезпечному перерізі (у стіні): Згинальний момент $M = Q \cdot L = 80 \text{ кН} \cdot 1000 \text{ мм} = 80\,000 \text{ кН} \cdot \text{мм}$. Перерізуюча сила дорівнює $Q = 80 \text{ кН}$.
2. Розрахунок нормальних напружень від згину: $\sigma = M / W_{ш} = 80000 \text{ кН} \cdot \text{мм} / 500000 \text{ мм}^3 = 0.16 \text{ кН/мм}^2 = 160 \text{ МПа}$.
3. Розрахунок дотичних напружень від зрізу: $\tau = Q / A_{ш} = 80 \text{ кН} / 6000 \text{ мм}^2 = 0.0133 \text{ кН/мм}^2 = 13.3 \text{ МПа}$.
4. Розрахунок еквівалентних напружень: $\sigma_{\text{екв}} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{160^2 + 3 \cdot (13.3)^2} = \sqrt{25600 + 3 \cdot 176.89} = \sqrt{25600 + 530.67} = \sqrt{26130.67} \approx 161.6 \text{ МПа}$.

19. Задача на розрахунок усадки:

Умова: Визначте аналітично орієнтовну величину поздовжньої вільної усадки ΔL (в міліметрах) при однопрохідному зварюванні стикового з'єднання сталевих листів довжиною $L = 6000 \text{ мм}$. Площа поперечного перерізу шва становить $F_{ш} = 1.5 \text{ см}^2$. Площа перерізу зварюваних листів (сумарна) $F_o = 150 \text{ см}^2$. Емпіричний коефіцієнт усадки для сталі $\alpha = 0.3$.

Алгоритм розв'язання:

1. Використовуємо спрощену формулу поздовжньої усадки: $\Delta L = \alpha \cdot (F_{ш} / F_o) \cdot L$.
2. Підставляємо значення (звертаючи увагу на розмірності): $\Delta L = 0.3 \cdot (1.5 \text{ см}^2 / 150 \text{ см}^2) \cdot 6000 \text{ мм} = 0.3 \cdot 0.01 \cdot 6000 = 0.003 \cdot 6000 = 18 \text{ мм}$.
3. Висновок: При розкрої листів необхідно передбачити припуск 18 мм на компенсацію поздовжньої усадки.

20. Задача на розрахунок посудини під тиском (котельна формула):

Умова: Визначте необхідну мінімальну розрахункову товщину стінки \$\$\$ циліндричного газового ресивера діаметром $D = 2500 \text{ мм}$, який працює під внутрішнім надлишковим тиском $P = 2.5 \text{ МПа}$. Допустиме напруження для сталі $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$. Коефіцієнт міцності зварного поздовжнього шва (напівавтоматичне зварювання з частковим контролем) $\varphi = 0.8$. Надбавка на корозію становить $C = 2 \text{ мм}$.

Алгоритм розв'язання:

1. Використовуємо базову котельну формулу для циліндричних обичайок: $S_{\text{розр}} = (P \cdot D) / (2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi)$.
2. Підставляємо значення: $S_{\text{розр}} = (2.5 \text{ МПа} \cdot 2500 \text{ мм}) / (2 \cdot 160 \text{ МПа} \cdot 0.8) = 6250 / 256 \approx 24.41 \text{ мм}$.
3. Визначаємо номінальну товщину стінки з урахуванням надбавки на корозію: $S_{\text{ном}} = S_{\text{розр}} + C = 24.41 + 2 = 26.41 \text{ мм}$.
4. Інженерне рішення: За сортаментом листового прокату приймаємо найближчу більшу стандартну товщину листа — 28 мм або 30 мм.

21. Задача на економічне нормування (Витрата матеріалів):

Умова: Розрахуйте загальну витрату зварювального дроту (в кг) для виконання куткових швів загальною довжиною $L = 50 \text{ метрів}$. Катет шва $K = 8 \text{ мм}$. Зварювання напівавтоматичне в

середовищі CO_2 . Коефіцієнт втрат на розбризкування та чад $K_v = 15\%$. Густина сталі $\rho = 7.85 \text{ г/см}^3$.

Алгоритм розв'язання:

1. Визначаємо площу поперечного перерізу кутового шва (прямокутний трикутник + опуклість). Спрощено: $F_{\text{ш}} \approx 0.5 \cdot K^2 = 0.5 \cdot 8^2 = 32 \text{ мм}^2 = 0.32 \text{ см}^2$.
2. Визначаємо масу наплавленого металу: $G_n = F_{\text{ш}} \cdot L \cdot \rho$. Довжина $L = 50 \text{ м} = 5000 \text{ см}$. $G_n = 0.32 \text{ см}^2 \cdot 5000 \text{ см} \cdot 7.85 \text{ г/см}^3 = 12560 \text{ г} = 12.56 \text{ кг}$.
3. Розрахунок загальної витрати дроту з урахуванням втрат: $G_{\text{ел}} = G_n / (1 - K_v/100) = 12.56 / (1 - 0.15) = 12.56 / 0.85 \approx 14.77 \text{ кг}$.
4. Висновок: Для виконання роботи необхідно видати зі складу 15 кг зварювального дроту (стандартна катушка).

БЛОК 3. АНАЛІТИЧНО-ТВОРЧИЙ РІВЕНЬ (ТЕХНОЛОГІЧНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ТА КЕЙСИ)

Комплексне завдання найвищого рівня когнітивної складності (рівень синтезу та оцінки). Здобувач повинен самостійно розробити технологічний алгоритм або розв'язати кризову виробничу ситуацію (Troubleshooting). Максимальна оцінка — 10 балів (обирається 1 кейс).

22. Кейс «Технологія балкових конструкцій» Ситуація: На завод металоконструкцій надійшло замовлення на партію суцільностінних двотаврових балок (довжина 18 м, висота стінки 1.5 м, товщина поясів 25 мм) для мостового переходу. **Завдання:** Розробіть оптимальний маршрутний технологічний процес їх виготовлення. *Очікуване технологічне рішення:*

1. **Заготівельний етап:** Листовий прокат розкрюється на порталних машинах термічного (або плазмового) різання з ЧПК. Оскільки листи прокату зазвичай мають довжину 6-12 м, смуги поясів і стінки спочатку зварюються встик до довжини 18 м.
2. **Складання:** Складання виконується на спеціалізованому складальному стані для двотаврових балок з гідравлічними притисками, що забезпечують перпендикулярність стінки до поясів. Ставляться прихватки.
3. **Зварювання:** Використовується дводугове автоматичне зварювання під шаром флюсу (SAW) зварювальним трактором.
4. **Запобігання деформаціям:** Для уникнення кутової деформації поясів (грибоподібності), перед складанням поясам надають попереднього зворотного вигину. Якщо це не зроблено, після зварювання балку пропускають через спеціальні правильні вальці. Для уникнення шаблеподібності шви накладають попарно-симетрично (або одночасно двома тракторами з обох боків стінки).
5. **Контроль:** УЗД стикових швів поясів та 10% контроль кутових поясних швів.

23. Кейс «Технологія ґратчастих конструкцій (Ферми)»

Ситуація: Вам доручено організувати серійне виробництво сталевих кроквяних ферм прольотом 24 м з парних куточків для будівництва промислового цеху.

Завдання: Опишіть технологію складання та зварювання ферми для запобігання втраті будівельного підйому.

Очікуване технологічне рішення:

1. **Оснащення:** Для серійного виробництва складання обов'язково проводиться у жорстких просторових кондукторах (складальних стендах з фіксаторами), які точно копіюють геометрію ферми з уже врахованим будівельним підйомом (вигином вгору).
2. **Складання:** Спочатку в кондуктор вкладають фасонки (косинки), потім деталі верхнього і нижнього поясів, далі — стійки та розкоси. Всі елементи фіксуються пневмопритисками і ставляться прихватки.

3. **Послідовність зварювання:** Це критичний етап. Ферма дає сильну поздовжню усадку. Правило 1: зварювання завжди ведеться від середини ферми до опорних (крайніх) вузлів. Правило 2: у кожному вузлі спочатку накладаються шви, які мають найбільший переріз і викликають найбільшу усадку. Правило 3: при зварюванні куточків з фасонкою, спочатку варять шов по обушку (він довший), а потім по перу куточка, щоб збалансувати згинальні моменти у вузлі.

24. Кейс «Магістральні трубопровідні системи»

Ситуація: Ваше підприємство виконує монтаж магістрального газопроводу (труби діаметром 1020 мм, товщина стінки 16 мм) у польових умовах.

Завдання: Опишіть технологічну послідовність зварювання неповоротного стику. Обґрунтуйте вибір механізації та методів контролю.

Очікуване технологічне рішення:

1. **Складання:** Для труб великого діаметра застосовують виключно внутрішні гідравлічні або пневматичні центратори. Вони розпирають труби зсередини, вирівнюючи кромки та знімаючи овальність, що гарантує рівномірний зазор.

2. **Зварювання кореневого шва:** Найвідповідальніший етап. Виконується ручним дуговим зварюванням електродом з целюлозним покриттям (для глибокого провару) на спуск, або напівавтоматом (STT-процес) для забезпечення формування зворотного валика без провисань та непроварів.

3. **Заповнюючі шви:** Для автоматизації застосовують орбітальні зварювальні комплекси. На трубу монтується направляючий бандаж, по якому навколо труби автоматично рухається зварювальна головка (метод MAG суцільним або порошковим дротом). Система автоматично коригує параметри (струм, напругу) залежно від просторового положення (нижнє, вертикальне, стельове).

4. **Контроль:** 100% радіографічний контроль (кроулер з рентгенівським апаратом рухається всередині труби).

25. Кейс «Оболонкові конструкції. Рулонний метод»

Ситуація: Нафтопереробний завод замовив будівництво п'яти вертикальних циліндричних резервуарів (РВС) об'ємом 5000 м³.

Завдання: Поясніть переваги та сутність рулонного методу виготовлення РВС. Опишіть послідовність робіт від цеху до будівельного майданчика.

Очікуване технологічне рішення:

1. **Суть методу:** Рулонний метод (метод Патона) переносить 80-90% зварювальних робіт з важких, неконтрольованих польових умов (вітер, дощ) у заводські цехи, дозволяючи використовувати високопродуктивне автоматичне зварювання.

2. **Виготовлення на заводі:** Листи стінки та днища розкладаються на спеціальних двоярусних стендах. Зварювання поздовжніх та поперечних стиків виконується зварювальними тракторами під шаром флюсу. Готове величезне полотнище проходить 100% дефектоскопію (УЗД) і намотується на спеціальний барабан (каркас).

3. **Монтаж:** Рулон транспортується на платформі на об'єкт. На підготовленому фундаменті рулон встановлюється вертикально краном. Тракторами полотнище розгортається, формуючи циліндр.

4. **Польові роботи:** На об'єкті виконується лише один вертикальний монтажний замикаючий шов стінки (зазвичай напівавтоматом у газах) та кутовий шов приварювання стінки до днища. Герметичність днища обов'язково перевіряється вакуум-камерами.

26. Кейс «Комплексна механізація цеху важкого машинобудування»

Ситуація: Для серійного виробництва великогабаритних просторових рам сільськогосподарської техніки (складна геометрія, вага 3 тонни) необхідно модернізувати робоче місце зварювальника.

Завдання: Підібрати обладнання. Розробити концепцію кінематичної схеми спеціалізованого кантувача/позиціонера, який дозволить виконувати 100% кутових швів у зручному нижньому положенні ("у човник").

Очікуване технологічне рішення:

1. Оскільки рама має велику вагу і габарити, використання одностійкового позиціонера з планшайбою недоцільне (величезний перекидний момент зламає редуктор).
2. Оптимальний вибір — двостійковий кантувач. Одна стійка є приводною (з електродвигуном та редуктором), друга — холостою (підтримувальною). Відстань між стійками можна регулювати по рейках.
3. Рама закріплюється у спеціальному жорсткому кондукторі з гідравлічними притисками. Сам кондуктор монтується на осі двостійкового кантувача. Це дозволяє обертати деталь на 360 градусів навколо горизонтальної осі, підставляючи кожен вузол під зварювання "в кут" або "в човник". Це виключає необхідність стельового чи вертикального зварювання, різко підвищуючи якість шва та продуктивність робітника.

27. Кейс «Дефектоскопія та Troubleshooting»

Ситуація: Під час ультразвукового контролю (УЗД) кільцевого стикового шва посудини, що працює під тиском (товщина стінки 20 мм, V-подібна розділка кромek, зварювання автоматичне під флюсом), виявлено значну протяжну несплошність строго по центру перерізу (в корені шва).

Завдання: Ідентифікуйте ймовірний дефект. Поясніть технологічні причини його утворення та запропонуйте алгоритм ремонту згідно з нормативними вимогами.

Очікуване технологічне рішення:

1. **Ідентифікація:** Судячи з локалізації (строго по центру в корені) та протяжності, дефект є непроваром кореня шва.
2. **Технологічні причини:** 1) Недостатній зазор між деталями при складанні; 2) Занижена сила зварювального струму (недостатнє тепловкладення); 3) Занадто велика швидкість зварювання; 4) Недостатній кут розчину кромek, через що дуга "блукає" по стінках фаски, не розплавляючи притуплення.
3. **Ремонт:** Непровар є неприпустимим гострим концентратором напружень, особливо для посудин під тиском. Шов бракується. Алгоритм ремонту: дефектна ділянка повністю видаляється механічним способом (фрезеруванням, шліфуванням або повітряно-дуговим струганням з обов'язковою подальшою зачисткою абразивом до чистого металу). Виконується повторне зварювання (зазвичай ручне дугове або TIG для кореня) з обов'язковим повторним УЗД відремонтованої ділянки. Заварювати дефект поверх старої поверхні категорично заборонено.

28. Кейс «Впровадження робототехнічних комплексів (РТК) та CAE систем»

Ситуація: Завод планує перевести зварювання серійних вузлів вантажних вагонів на роботизовані лінії. Однак тестові зразки після зварювання роботом мають значні деформації.

Завдання: Поясніть, як використання систем CAE (Computer-Aided Engineering) може вирішити цю проблему без витрачання металу на натурні експерименти. *Очікуване технологічне рішення:*

1. Використання систем інженерного аналізу (наприклад, SYSWELD, Simufact Welding).
2. Інженер імпортує CAD-модель вузла в CAE-систему і створює цифрового двійника (Digital Twin). Задаються теплофізичні властивості металу та параметри зварювання.
3. Система симулює метод скінченних елементів (МСЕ). На екрані генерується теплове поле від дуги робота, імітується фазове перетворення металу та його усадка.
4. Інженер візуально бачить, як саме викривиться деталь (жолоблення). Змінюючи траєкторію робота, послідовність швів або задаючи попередній зворотний вигин у програмі,

інженер знаходить оптимальну технологію віртуально. Тільки після успішної симуляції керуюча програма (G-код) передається на реального робота в цех, що економить час, ресурси та гарантує якість.