

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
кафедра інжинірингу машинобудівних технологій
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: **Удосконалення технології виготовлення гофрованих балок з дослідженням НДС**

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи МПзм-61
спеціальності 131 Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

	<u>Дробочський Д.І.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Керівник	<u>Підгурський М.І.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	<u>Ткаченко І.Г.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	<u>Окіпний І.Б.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Рецензент	<u></u> (підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2024

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра на тему: " Удосконалення технології виготовлення гофрованих балок з дослідженням НДС " складається із розрахунково-пояснювальної записки об'ємом 71 аркушів формату А4 і графічної частини об'ємом 6 аркушів формату А1. Розрахунково-пояснювальна записка включає аналітичну, дослідницьку, технологічну, конструкторську частини, а також розділи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

У роботі розглянуто технологічні аспекти та конструктивні особливості виготовлення двотаврових балок із гофрованими стінками. Описано переваги використання таких конструкцій, включаючи зменшення ваги, підвищення несучої здатності та економічної ефективності у порівнянні зі стандартними гарячекатаними балками. Детально проаналізовано процеси виготовлення, зокрема, зварювання, дробоструминну обробку та нанесення захисних покриттів. Наведено методи моделювання та оптимізації параметрів балки за допомогою сучасних програмних комплексів. Основна увага приділяється підвищенню точності та якості виробництва, а також використанню автоматизованих систем зварювання.

Ключові слова: ГОФРОБАЛКА, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ЗВАРЮВАННЯ, ДРОБОСТРУМИННА ОБРОБКА, НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ, ЕКОНОМІЧНІСТЬ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	7
1.1. Опис конструкції виробу та умов його роботи.....	7
1.2 Технічні умови до конструкції виробу.....	13
1.3 Аналіз технологічного процесу	15
2 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА	18
3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	28
3.1 Технічне обґрунтування способу зварювання.....	28
3.2 Опис технологічного процесу	42
4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	51
4.1 Розрахунок затискних пристроїв кондуктора	51
4.3 Опис роботи запропонованих зварювальних пристосувань	55
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	58
5.1 Заходи для захисту від ураження електричним струмом в спроектованому цеху (дільниці).....	58
5.2 Розрахунок штучного освітлення для спроектованого цеху з використанням люмінесцентних чи ламп розжарювання	59
5.3 Оцінка стійкості роботи промислового підприємства	62
5.4 Захисні споруди	64
ВИСНОВКИ.....	68
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	69
ДОДАТКИ.....	71

ВСТУП

Сучасні вимоги до будівельних конструкцій спрямовані на досягнення високої міцності, мінімальної ваги та економічної ефективності. Одним із перспективних рішень у цій галузі є двотаврові балки з гофрованими стінками.

З появою автоматизованих систем зварювання стало можливим виробництво балок з гофрованими стінками. Застосування полегшених металевих конструкцій замість традиційних дозволяє досягти значних економічних показників. Це стає можливим завдяки зменшенню вагових навантажень, зниженню витрат на транспортування і монтаж, скороченню загальних витрат на будівництво, а також підвищенню надійності на етапах проектування та експлуатації.

У порівнянні з традиційними зварними або прокатними двотаврами, а також з балками, що мають гнучкі стінки з ребрами жорсткості чи перфорованими елементами, такі конструкції демонструють кращі показники у плані витрат матеріалів та трудомісткості виробництва. Оптимізація геометричних параметрів перерізів і характеристик гофрування стінок дозволить максимально реалізувати потенціал балок із гофрованими стінками, забезпечуючи їхню ефективність та конкурентоспроможність.

1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Опис конструкції виробу та умов його роботи

Конструкція гофрованої балки (рис. 1.1 та 1.2) охоплює пояси з різноманітними перерізами та вузьку металеву стінку, котра формується в хвилеподібну форму у поперечному напрямку. Цей тип балки, відомий також як гофробалка, представляє собою різновид зварної двотаврової балки, де для зменшення ваги конструкції використовується тонколистовий синусоїдальний профіль. Стінка балки виробляється з рулонної чорної сталі, профілюється за допомогою пресування, має товщину від 1,5 до 4 мм і може досягати висоти від 200 до 1500 мм. Ці розміри залежать від стандартних габаритів сталевих рулонів і орієнтовані на зниження обсягу відходів. За спеціальними замовленнями можливі зміни стандартних параметрів. Довжина гофробалок зазвичай не перевищує 12 метрів, але може бути адаптована до специфічних вимог [1-5].

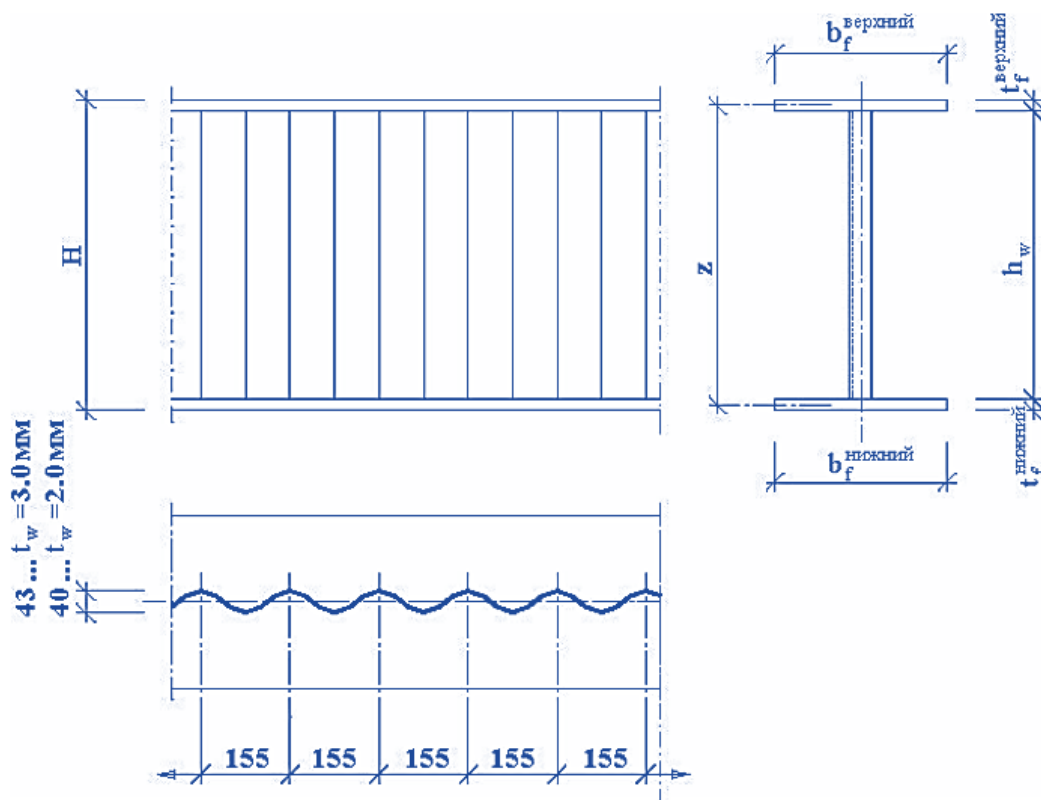


Рис. 1.1 – Ескіз гофрованої балки

Виробничі методи гофробалок спрямовані на усунення недоліків стандартних двотаврових балок, яким необхідне збільшення жорсткості та витрат. Зазвичай для гарячекатаної балки висотою 1500 мм товщина стінки може складати від 20 до 25 мм, тоді як у зварених балках — від 6 до 16 мм. Гофробалка має товщину стінки лише від 1,5 до 4 мм.

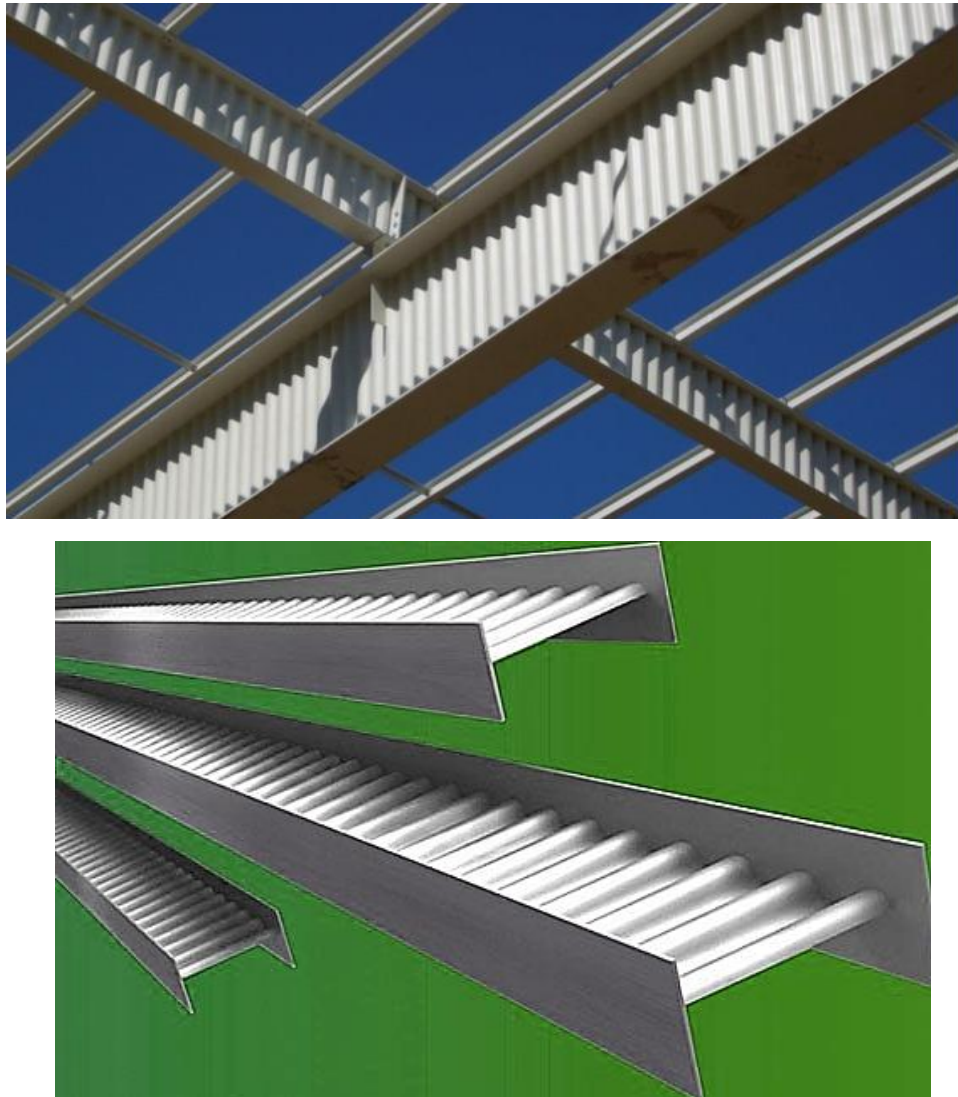


Рис. 1.2 – Гофрбалки

Балки відіграють ключову роль у сучасних будівельних та промислових проектах, зокрема у створенні металевих конструкцій. Завдяки своїй підвищеній жорсткості, такі балки сприяють значному зміцненню металоконструкцій,

дозволяючи редукувати навантаження на інші елементи конструкції за рахунок ефективного розподілу ваги.

Гофрована балка, відома також як SIN-балка, являє собою легку зварну металеву конструкцію, виготовлену з профільованого холоднокатаного листа, який з'єднаний з гарячекатаними полицями. Її застосування ефективне в найрізноманітніших будівельних проектах: від житлових комплексів та комерційних споруд до великих виробничих об'єктів. У промисловості, аграрному та цивільному будівництві гофробалки використовуються для створення надійних несучих конструкцій, сприяючи зниженню металоємності в проектах з легких металоконструкцій (ЛМК).

Гофробалки знаходять широке застосування у різноманітних будівельних проектах, використовуючись не тільки як основні несучі елементи, але й у якості стельових, прогонових чи рамних конструкцій. Використання гофробалок з гофрованою стінкою пропонує значні переваги порівняно з традиційними балками. Зокрема, вони дозволяють знизити загальну вагу конструкцій на 10-60%, що порівнюється з тими, що виготовлені з гарячекатаних балок, завдяки вищій несучій спроможності.

Максимальна довжина прогону при використанні гофробалок залежить від специфічних навантажень. Наприклад, для снігових навантажень 80 кг/м² можливо рекомендувати прогін до 40-45 метрів при відстані між колонами в 6 метрів або більше, тоді як для навантажень 200 кг/м² оптимальна довжина прогону скорочується до 30 метрів. Гофробалки є незамінними в невеликих прогони до 24 метрів та у багатоповерхових будівлях, особливо як покрівельні прогони, де вони не мають альтернативи. Проте, слід враховувати, що разом з численними перевагами, гофробалки мають і деякі недоліки, зокрема, існують суперечності щодо їх використання як колон [1-5].

Переваги використання гофробалок:

- Економічність: Гофробалки вимагають меншої кількості матеріалу для виробництва, знижуючи матеріалоємність на 10-30% порівняно зі

звичайними зварними балками і на 40-60% порівняно з гарячекатаними двотавровими балками.

- Ефективність несучої спроможності: Завдяки оптимальному співвідношенню власної ваги до несучої здатності, вага конструкцій, що використовують гофробалки, зменшується на 10-60% у порівнянні з конструкціями на основі гарячекатаних балок.
- Полегшення фундаменту: Використання гофробалок дозволяє зменшити навантаження на фундамент, що може призвести до зниження його об'єму і вартості.
- Швидкість монтажу: Гофробалки виробляються з високою точністю, що спрощує процес монтажу та дозволяє використовувати зручні болтові з'єднання.
- Зниження витрат на вантажопідйомну техніку: Легша вага гофробалок знижує витрати на вантажопідйомну техніку під час монтажу.

Оригінальний зовнішній вигляд гофробалок дозволяє їм виступати як виразний елемент дизайну в різних сферах, включаючи промислове суднобудування та машинобудування. Ці металеві конструкції можуть ефективно використовуватися у широкому спектрі застосувань завдяки своїм перевагам: вони відрізняються високою жорсткістю при згині, легкістю конструкції та оптимальністю з точки зору витрат при виробництві. Гофровані балки є конкурентоспроможними на ринку металоконструкцій, завдяки їх технічним характеристикам та економічності, що робить їх привабливим вибором для широкого діапазону проектів.

Основні переваги гофробалки включають:

- Зниження ваги конструкції: Порівняно з традиційними гарячекатаними балками, використання гофробалок може забезпечити значну економію ваги, до однієї третини, завдяки можливості застосування металевих смужок різної товщини. Це дозволяє не тільки збільшити висоту балки, але й регулювати її в залежності від вимог конкретного проекту, забезпечуючи значну економію на металі та монтажних роботах.

- Можливість перекриття великих прольотів: За допомогою гофробалок можна ефективно перекривати простори від 30 до 40 метрів залежно від навантаження.
- Оптимізація висоти конструкцій: Для прольотів довжиною 20-30 метрів, гофробалка з висотою 1.5 м може мати несучу здатність порівняну з 2.4 м висотою класичної сталевий ферми, що дозволяє значно знизити висоту будівлі та споживання будівельних матеріалів.
- Підвищена жорсткість: Гофробалки характеризуються високою жорсткістю, що забезпечує стабільність конструкції.
- Економія сировини: Гофробалки вимагають менше матеріалу для виробництва, що веде до зниження вартості кінцевих конструкцій.
- Спрощення монтажу: Не потрібно додаткового підйомного устаткування під час розвантаження та монтажу, що знижує загальні витрати.
- Збільшення ширини безопорних прольотів: Використання гофробалок сприяє збільшенню можливих безопорних прольотів, забезпечуючи більш відкриті простори в конструкціях.

Конструкції балок з хвилеподібною гофрованою стінкою і плоскими полицями значно зменшують матеріалоемність будівельних конструкцій, досягаючи економії від 10 до 30% порівняно зі стандартними будівельними рішеннями і до 40-60% маси у порівнянні з аналогічними гарячекатаними двотаврами тієї ж жорсткості. Профільована стінка балки відзначається підвищеною жорсткістю та опором до деформацій, на відміну від звичайних плоских стінок двотаврів, що дозволяє відмовитися від додаткових ребер жорсткості та в'язей. Завдяки цьому, гофрована стінка тримається в пружному стані довше, перш ніж втрачає стійкість.

SIN-балки демонструють максимальну несучу здатність при оптимальній власній вазі, що поєднує переваги решітчастих ферм (здатність перекривати великі прольоти при мінімальній вазі) з перевагами звичайних прокатних двотаврів (компактна конструктивна висота та висока несуча здатність). За рахунок профілювання стінок у формі синусоїди забезпечується підвищена

стійкість до тривалих статичних навантажень, значно знижуються або навіть повністю усуваються місцеві деформації полиць.

Для створення балок використовуємо сталі марок ВСт3пс та 16Г2АФ, друга яка характеризується високою якістю. Характеристики матеріалів приведено в таблицях 1.1 та 1.2.

Таблиця 1.1 Хімічний склад [6]

Сталь	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	V	N	Cu	As
16Г2АФ	0.14 - 0.2	0.3 - 0.6	1.3 - 1.7	до 0.3	до 0.035	до 0.03	до 0.4	0.08 - 0.14	0.015 - 0.025	до 0.3	до 0.08
ВСт3пс	0.14 - 0.22	0.05 - 0.17	0.4 - 0.65		до 0.05	до 0.04	до 0.3	-	-		

Таблиця 1.2 – Механічні властивості [6]

Сталь	Сортамент -	Розмір	Напр.	σ_B	σ_T	δ_5	ψ	КСУ
		мм	-	МПа	МПа	%	%	
ВСт3пс	Прокат гарячекатаний.	до 20		370-480	245	26		
16Г2АФ	Лист	до 50		510	390	19		

Однією з ключових технологічних особливостей сталі є її зварюваність. Зварюваність визначається як здатність матеріалу формувати зварне з'єднання, яке задовольняє всі вимоги, передбачені конструкцією та експлуатацією виробу, за умов визначеної технології зварювання. Технологічна зварюваність відображає наскільки властивості зварного з'єднання відповідають властивостям базового металу.

Оцінка зварюваності металу проводиться на основі розрахунків еквівалента вуглецю C_e , який наведено в джерелі [7]:

$$C_e = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn + Cu + Cr}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5 \cdot B + \frac{S}{600} + \frac{H}{60}; \quad (1.1)$$

ВСтЗпс:

$$C_e = 0,12 + \frac{0,17}{30} + \frac{0,65 + 0,3 + 0,3}{20} + \frac{0,3}{60} + \frac{2,5}{60} = 0,23$$

16Г2АФ:

$$C_e = 0,2 + \frac{0,6}{30} + \frac{1,7 + 0,3 + 0,4}{20} + \frac{0,3}{60} + \frac{0,035}{600} + \frac{2,5}{60} = 0,38$$

Еквівалент вуглецю сталей становить менше 0,45, що свідчить про високу зварюваність матеріалу. Завдяки таким показникам, сталі можна зварювати за допомогою будь-яких відомих методів без необхідності у додаткових операціях, таких як попередній чи супутній підігрів.

1.2 Технічні умови до конструкції виробу.

Для виготовлення поясних елементів гофрованих балок зазвичай використовується гарячекатана листова сталь універсального типу з класом міцності не нижче С255, згідно з ДСТУ Б В.2.6-199:2014. Стінки балок виготовляються з холоднокатаної листової сталі марки СтЗсп, яка відповідає ДСТУ 2651:2005. Також допускається використання інших конструкційних матеріалів залежно від специфіки замовлення, вимог замовника, наявності матеріалів і проектно-технічних рішень виробника.

При виготовленні гофрованих балок необхідно застосовувати специфічний вид та технологію зварювання, щоб забезпечити якісний провар одностороннього шва, який з'єднує тонку стінку із поясним елементом. Важливо, щоб механічні властивості металу у зоні зварювання відповідали або перевищували нормативні показники, задані для основного металу. Також категорично забороняється наявність кристалізаційних тріщин у зварних з'єднаннях, оскільки це може істотно знизити міцність конструкції.

При виконанні дугового зварювання необхідно застосовувати зварювальний дріт згідно з ДСТУ 3671-97, флюс відповідно до ДСТУ 3261.8-95 та електроди за ДСТУ ISO 18275:2008. Зварні шви у з'єднаннях поясів, стінок та ребер жорсткості мають бути неперервними уздовж всієї довжини гофрованої балки. При виготовленні гофрованих балок дозволяється використання стикових зварних з'єднань, відомих як поперечні стики. Ці з'єднання повинні мати міцність, рівну міцності стикованих елементів. Згідно з технологічною лінією компанії «Zeman Bauelemente» [8], кількість допустимих поперечних стиків визначається виробничими вимогами.

Під час зварювання гофрованих балок допускається обмежена кількість поперечних стиків, залежно від довжини балки:

- не більше двох стиків, якщо довжина балки менше 10 метрів;
- не більше трьох стиків, якщо довжина балки становить 10 метрів або більше.

Відстань між стиками має бути не менше 3 метрів, а мінімальна відстань від краю балки до найближчого з'єднання стикуванням — не менше 1 метра. Стики елементів стінки мають бути розташовані на відстані не менше 100 мм від сусідніх стиків поясів балки.

Після завершення зварювання всі шви мають бути ретельно очищені від шлаку та залишків металу. Підкладні планки потрібно видаляти обережно, без застосування ударних методів, щоб уникнути пошкодження основного металу. Кількість і характер допустимих дефектів у зварних швах мають відповідати вимогам ДСТУ 3491-96.

Залежно від призначення та умов експлуатації, гофровані балки потребують адекватного захисту від корозії. Відповідно до проектної документації та стандартів ДСТУ Б В.2.6-193:2013, захист металевих конструкцій може бути забезпечений за допомогою лакофарбових або полімерних покриттів, а також методом гарячого цинкування, яке проводиться на виробничих майданчиках. Товщина захисного покриття, нанесеного на підприємстві, повинна становити не менше 40 мікрометрів.

Точність розмірів компонентів гофрованих балок є критичною і повинна відповідати гранично допустимим відхиленням, які визначаються і фіксуються в документації замовлення або в технічних специфікаціях. Сучасні технології та автоматизація виробничих процесів дозволяють забезпечити високу точність виконання, згідно з проектними вимогами (див. рисунок 2). Для гофрованих балок із характерними геометричними відхиленнями встановлюються наступні обмеження:

- Довжина гофрованої балки: допустиме відхилення від 0 до 5 мм;
- Висота гофрованої балки: допустиме відхилення ± 3 мм;
- Зміщення осі гофрованої стінки відносно осі поясу: до 5 мм;
- Ширина поясів: допустиме відхилення ± 5 мм.

1.3 Аналіз технологічного процесу

Процес виготовлення двотаврових гофрованих балок охоплює кілька ключових етапів: правлення, розмічування, різання, гофрування, складання, зварювання, зачищення та контроль якості виробу.

Переріз гофрованої балки складається з двох горизонтальних листів, які служать полицями, та одного вертикального гофрованого листа, що є стінкою.

Процес виробництва балок з гофрованою стінкою здійснюється на спеціалізованих виробничих майданчиках, таких як заводи металоконструкцій, де вони використовуються для створення різноманітних конструкцій, включаючи мостові та каркасні елементи. На цих ділянках встановлені спеціалізовані преси або інші пристрої для гофрування та зварювання поперечних швів. Для зварювання широко застосовуються передові промислові маніпулятори з зварювальними головками, здатні слідувати складним криволінійним траєкторіям.

Технологічний процес формування гофр полягає у наступному: плоский металевий лист пропускається між двома валами, які обертаються у протилежні сторони. На валах встановлені спеціальні пристрої для фіксації змінних пластин, що дозволяють вигинати лист у гофру при обертанні валів. Використання пластин різних розмірів забезпечує можливість зміни характеристик гофрування залежно від конкретних потреб проекту.

Для формування криволінійних гофрованих поверхонь, що забезпечують більш складні вигини ніж у стандартних площинах, використовуються спеціалізовані знімні компоненти. Хвилясті гофри можливо створити за допомогою методу пресування листа між двома спеціалізованими матрицями. Однак, адаптація параметрів гофрування в цьому контексті вимагає наявності різноманітних матриць, здатних задовольнити потреби в зміні форми.

Полки з'єднують із стінкою, після чого проводять зварювання швів способом у захисному газовому середовищі (рис. 1.3). У таких конструкціях зазвичай використовують односторонні кутові зварні шви для з'єднання гофрованих стінок із поясами. Завдяки геометрії, де поєднуються «надтонкі» стінки та порівняно товсті пояси, кутовий шов майже завжди перетворюється на повноцінне стикове з'єднання завдяки глибокому провару стінки.

Контроль якості зварних з'єднань на кожному етапі виробництва гофрованих балок здійснюється переважно візуально.

Із проведеного аналізу процесу зварювання гофрбалок впливає те, що зварювання балок проводять в такий спосіб, де вертикальна стінка знаходиться в горизонтальній площині. Враховуючи те, що товщина стінки є на порядок тоншою пояса, а в такому положенні концентрація тепла від дуги більше діє на гофру ніж на пояс, який має значно більшу тепловідвідність.

Тому, враховуючи це необхідно змінити технологію автоматизованого зварювання, а саме проводити процес так, щоб концентрація тепла була більше зосереджена на поясах. Оскільки при існуючій технології відбувається перегрівання вертикальної стінки балки в зоні ТВ.



Рис. 1.3 – Процес зварювання гофрбалки

2 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

Для створення моделі балки та її розрахунку використовуємо програмний комплекс SOLID WORKS. На рис.1 представлено геометричну модель гофрованої балки, а на рис.2 – та ж модель, тільки з «прозорою» верхньою полицею для наочного зображення стику полиці з хвилястою стінкою.

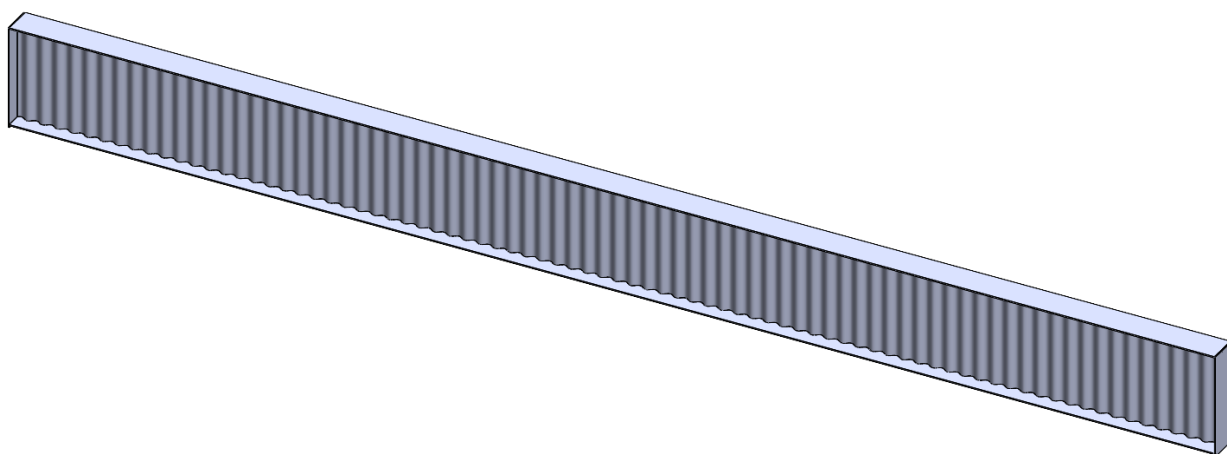


Рис.2.1. - Геометрична модель гофрованої балки

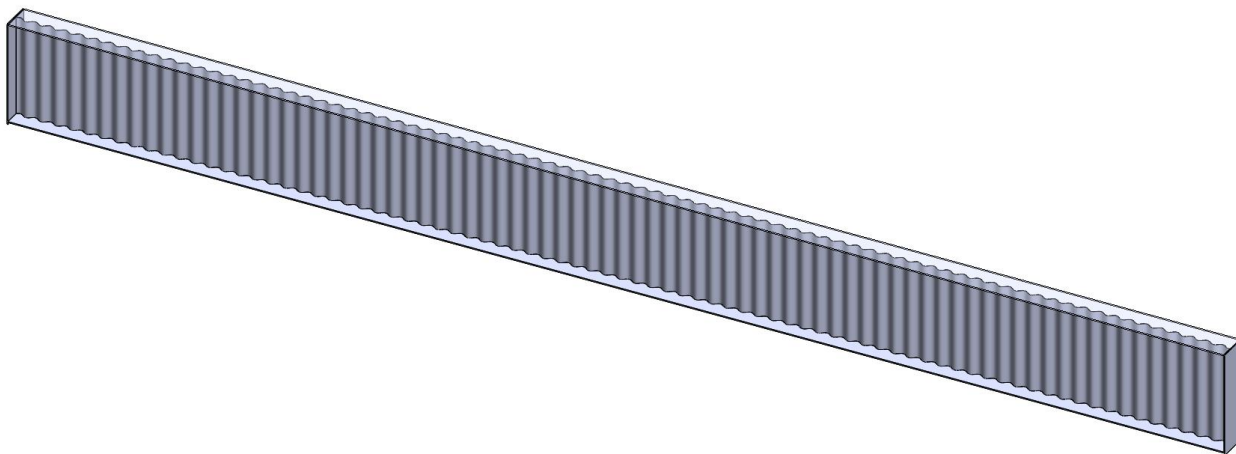


Рис.2.2. - Геометрична модель гофрованої балки з «прозорою» верхньою полицею

Геометричні моделі (рис.2.1 та 2.2) виконані відповідно до рис.1.1 – 1.2. Умови закріплення балки: - шарнірно-нерухома опора з одного боку та шарнірно-рухома з іншого боку (рис.2.3).

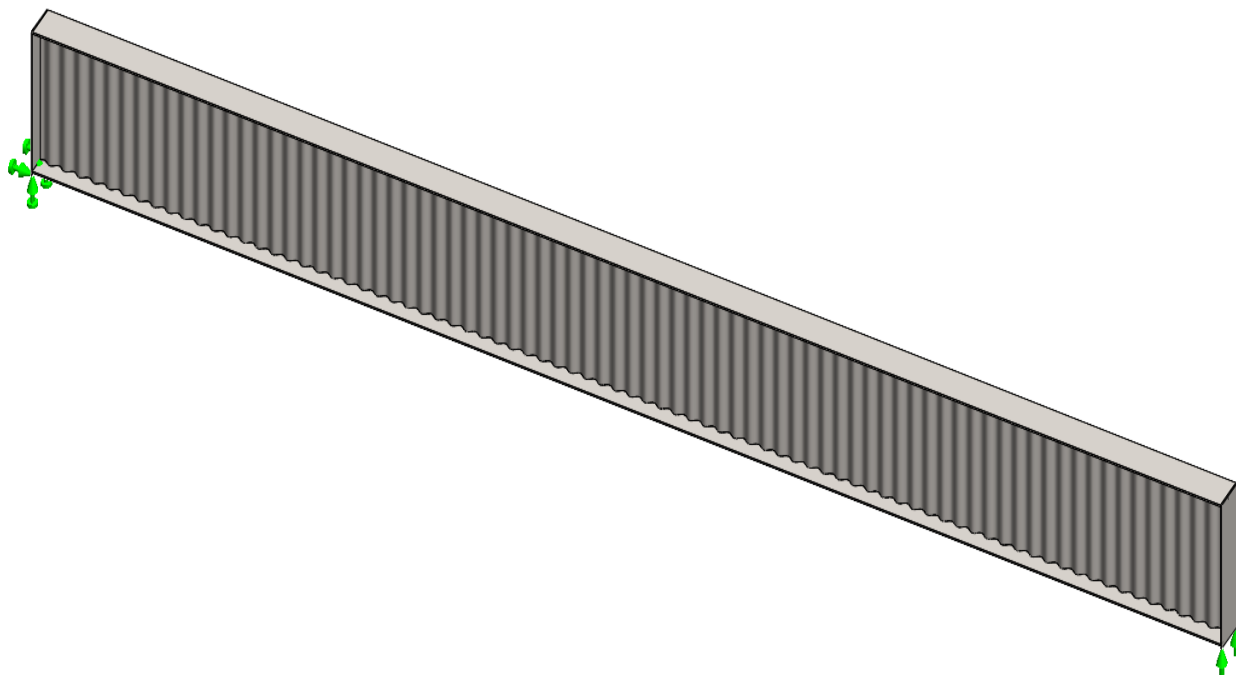


Рис.2.3. Умови закріплення гофрованої балки

Навантаження є рівномірно розподіленим по верхній полиці балки: $q=3$ кН/м (рис.2.4)

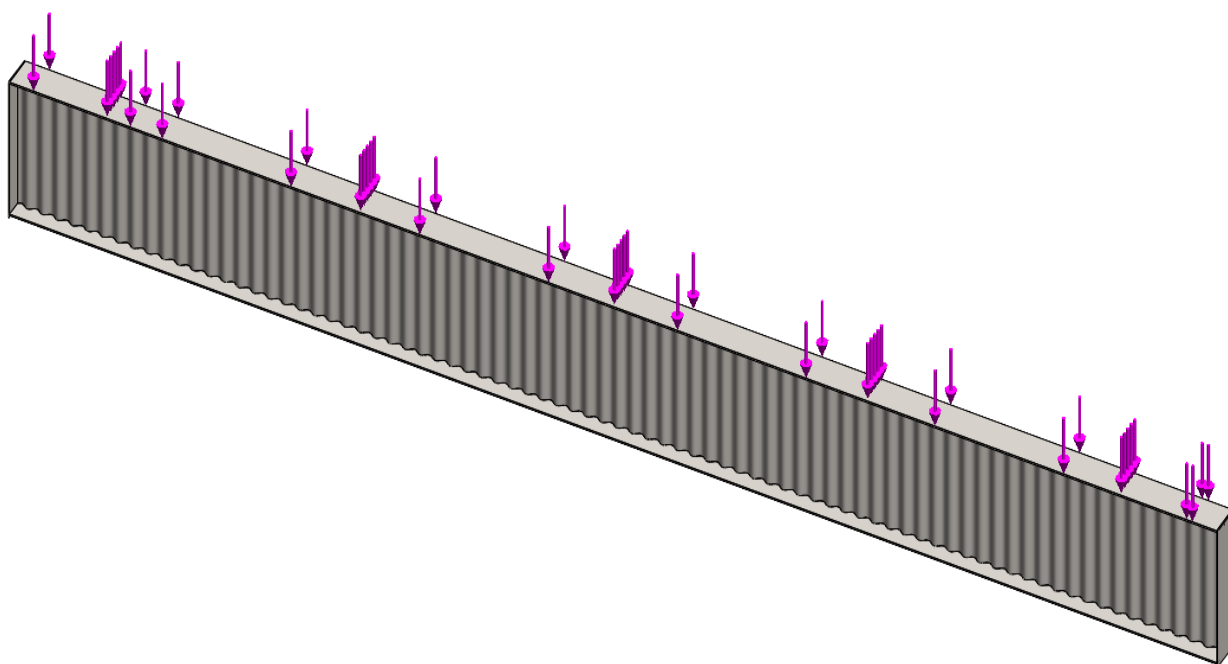


Рис.2.4. Схема навантаження гофрованої балки

На рис.5 представлено модель гофрованої балки з вказаними умовами закріплення та навантаження.

Наступним етапом розрахунку є генерування сітки, а оскільки стінка гофрованої балки є синусоїдною, то сітку скінчених елементів побудовано на основі змішаної кривизни з максимальним розміром елемента 50 мм та мінімальним розміром елемента 35 мм. Співвідношення збільшення розміру елемента – 1,4 (рис.2.6).

Сітка скінчених елементів – сітка на основі змішаної кривизни з максимальним розміром елемента 50 мм та мінімальний розміром елемента 3,5 мм. Співвідношення збільшення розміру елемента – 1,4.

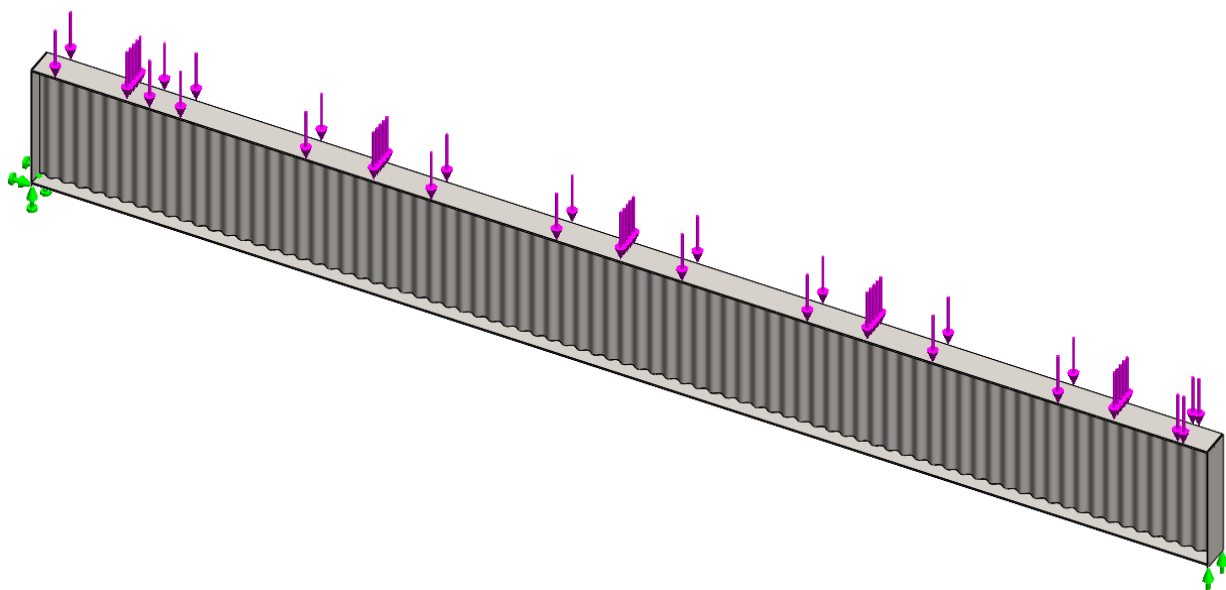


Рис.2.5. Розрахункова модель гофрованої балки

Згідно норм проектування сталевих конструкцій, для виготовлення гофрованих балок беруть: для поясів – гарячекатана листова сталь не типово за марку С 255 згідно ДСТУ 8539 (Ст3сп, ДСТУ 4995); для стінки -холоднокатану тонколистову сталь Ст3сп згідно ДСТУ 2834-94. Варто зазначити, що застосування

інших конструкційних матеріалів також є можливим залежно від вимог замовника та нормативно-технічної документації для конкретного виду продукції.

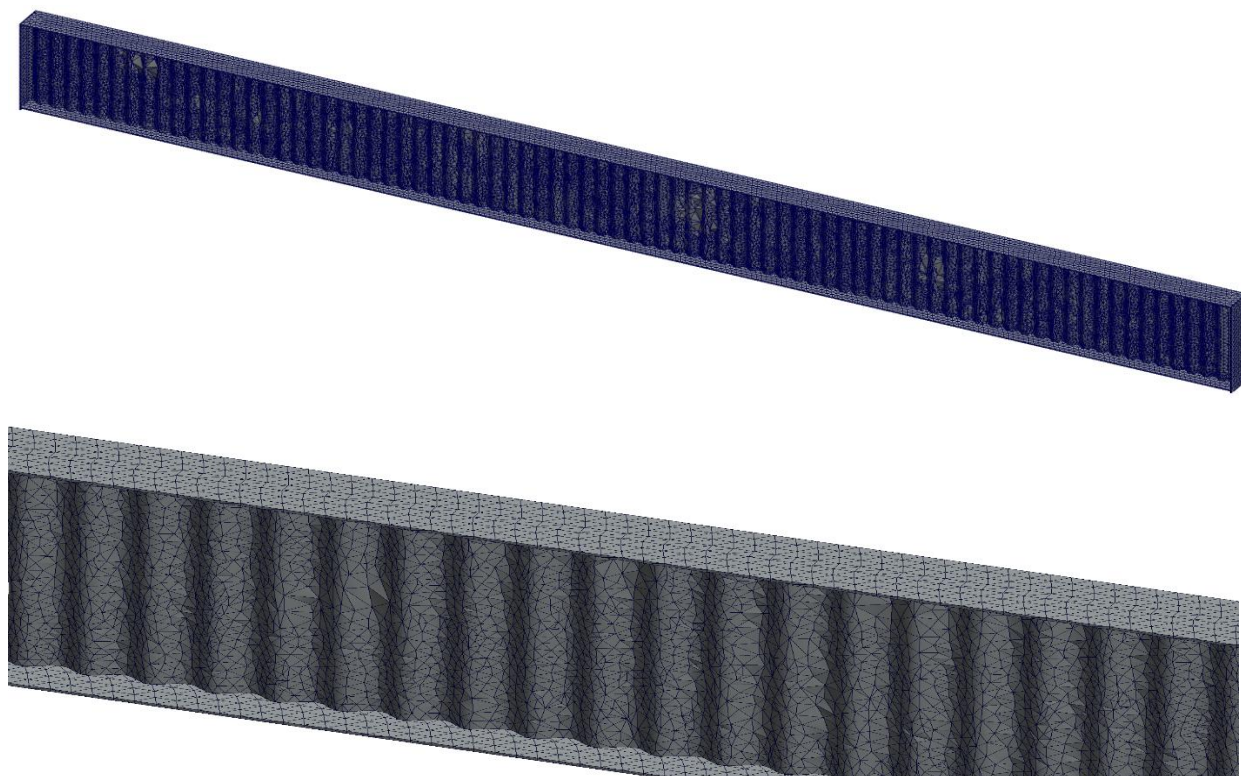


Рис.2.6. Скінчено-елементна модель гофрованої балки: а) загальний вигляд; б) фрагмент

Моделювання виконується для трьох видів балок, для яких замінено матеріал полиць балок при незмінному матеріалі гофрованої стінки. У першому варіанті моделювалися балки (стінка і полиці) з матеріалу С255; у другому варіанті - полиці із сталі класу С275, а стінка із сталі класу С255; у третьому варіанті – полиці із сталі класу С390 (сталь 16Г2АФ), а стінка – сталь класу С255 (сталь ВСт3пс). Результати досліджень показані на рис. 2.7.

Максимальний згинний момент не перевищує 156 МПа (рис. 2.7). Максимальне значення переміщення посередні балки становлять 26,5 мм, зазначимо, що границя відхилення вертикального прогину балки $\frac{f}{L} = \frac{1}{250}$ (приймається за ДСТУ Б.В. 1.2-3:2006). Тоді максимальне переміщення не перевищують максимально допустимих: $f=26,5 \text{ мм} < [f]=48 \text{ мм}$.

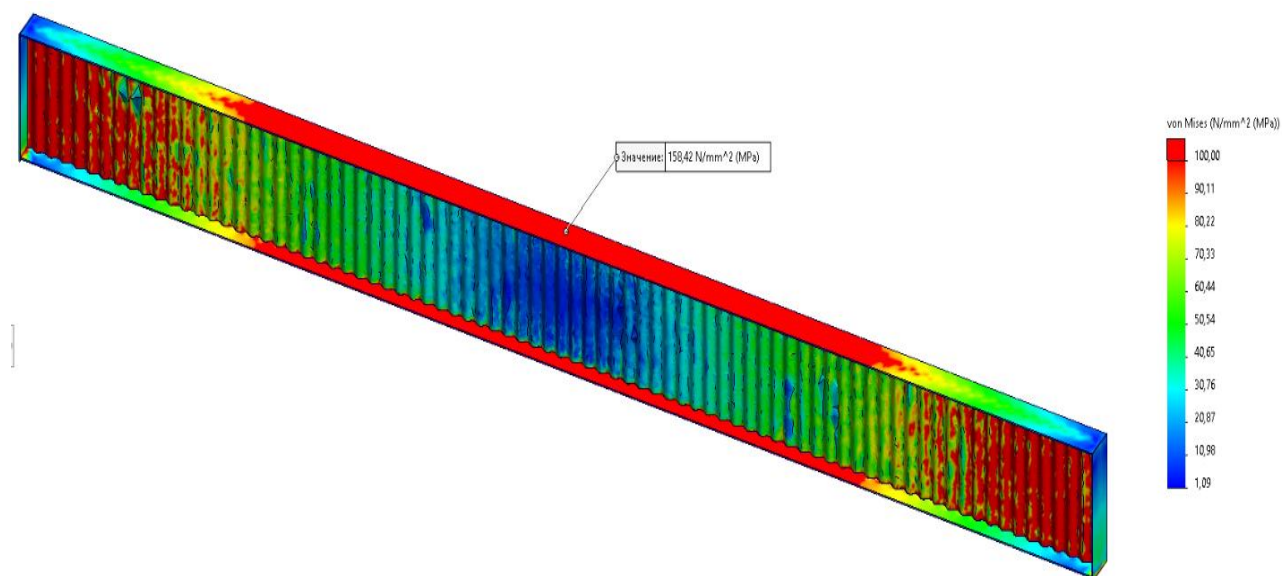


Рис. 2.7 Епюра розподілу еквівалентних напружень (за Фон Мізесом) (варіант 1)

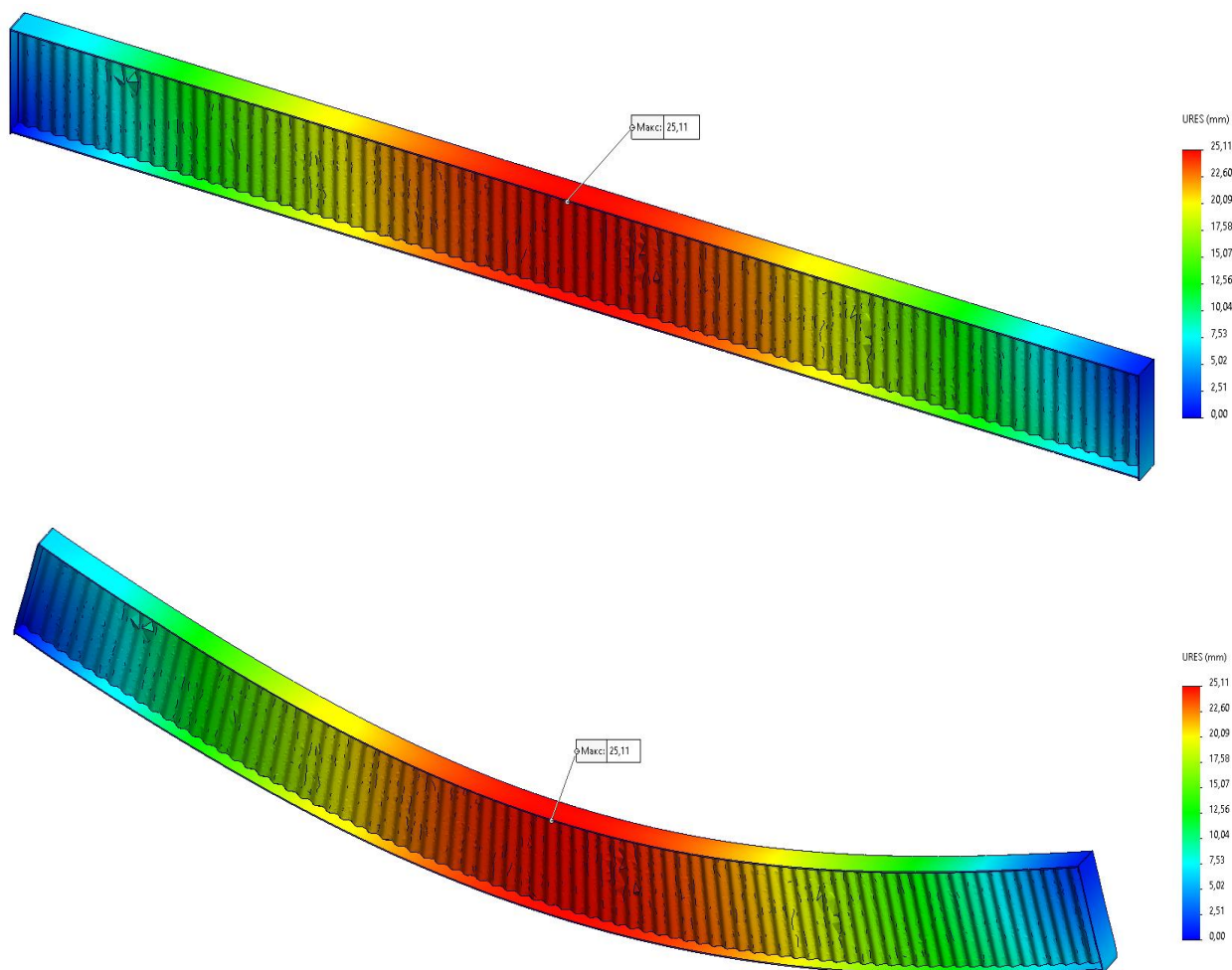


Рис. 2.8 Епюра розподілу переміщень у реальному та збільшеному масштабі (варіант 1)

Епюра розподілу коефіцієнта запасу міцності та його максимальне значення представлена на рис.2.9 .

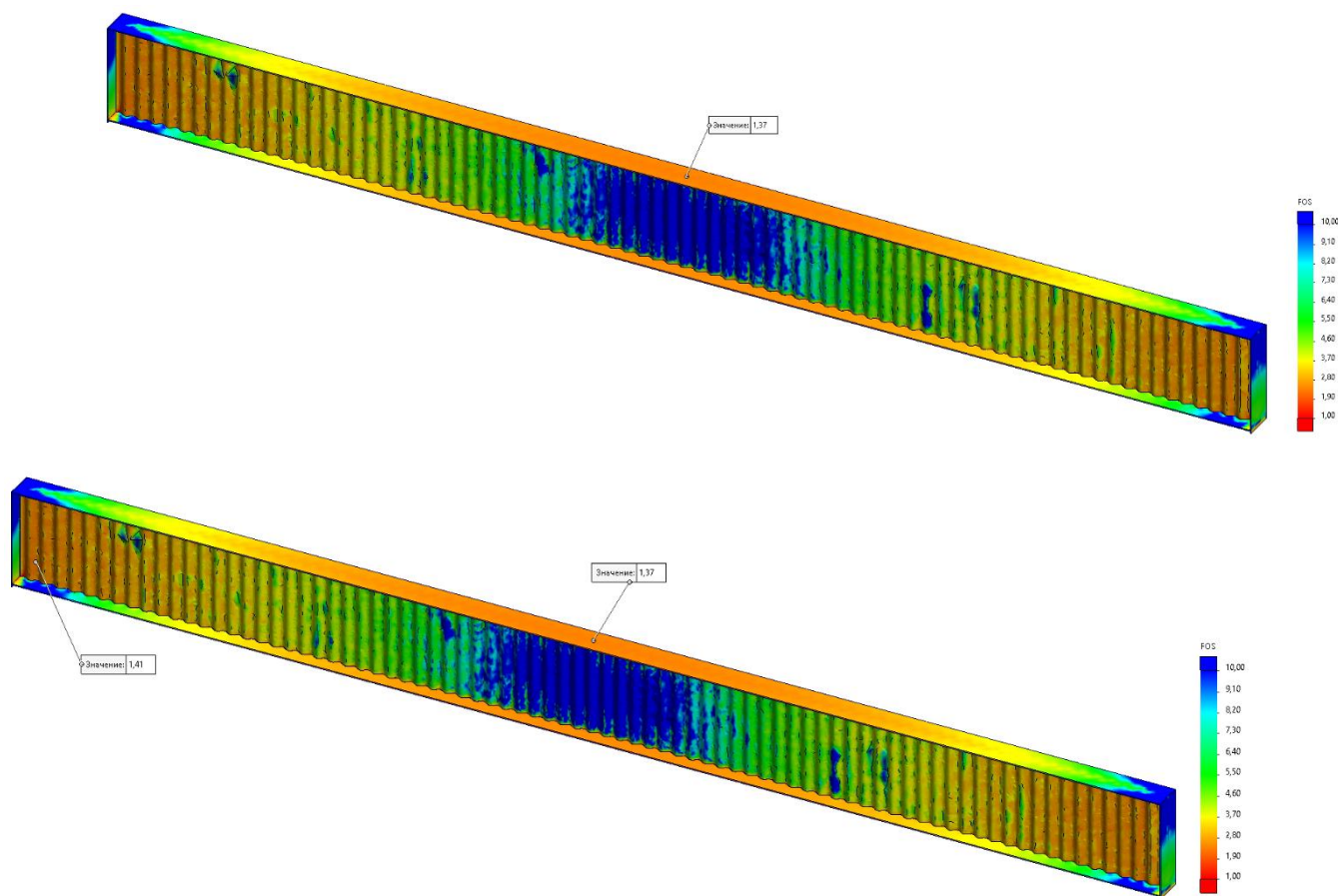


Рис.2.9. Епюра розподілу коефіцієнта запасу міцності та максимальні значення по середині балки (а) та при опорній зоні (б) (варіант 1).

Епюра розподілу еквівалентних напружень (за Фон Мізесом), переміщень та коефіцієнтів запасу міцності балки за варіантом 2 представлені на рис.2.10-2.12 відповідно.

Епюра розподілу еквівалентних напружень (за Фон Мізесом), переміщень та коефіцієнтів запасу міцності балки за варіантом 3 представлені на рис.2.13-2.15 відповідно.

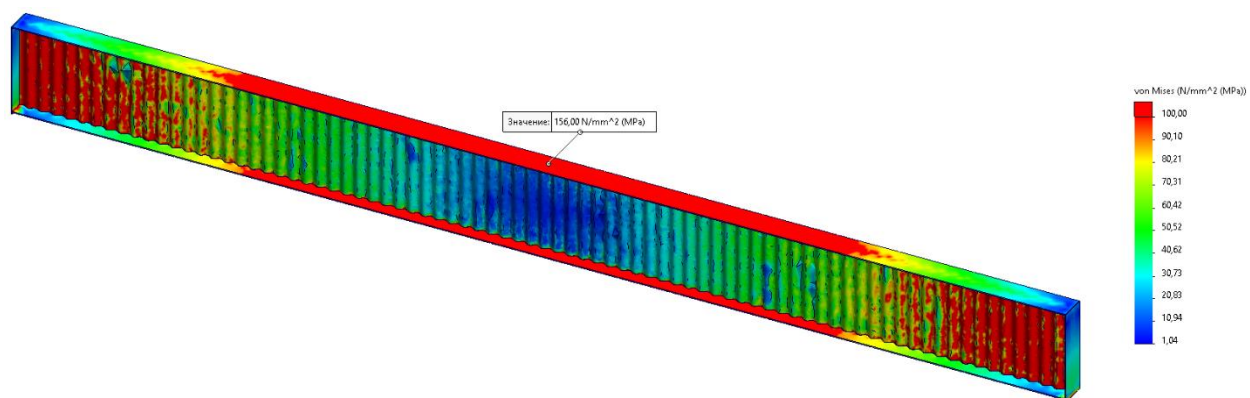


Рис. 2.10 Епюра розподілу еквівалентних напружень (за Фон Мізесом) (варіант 2)

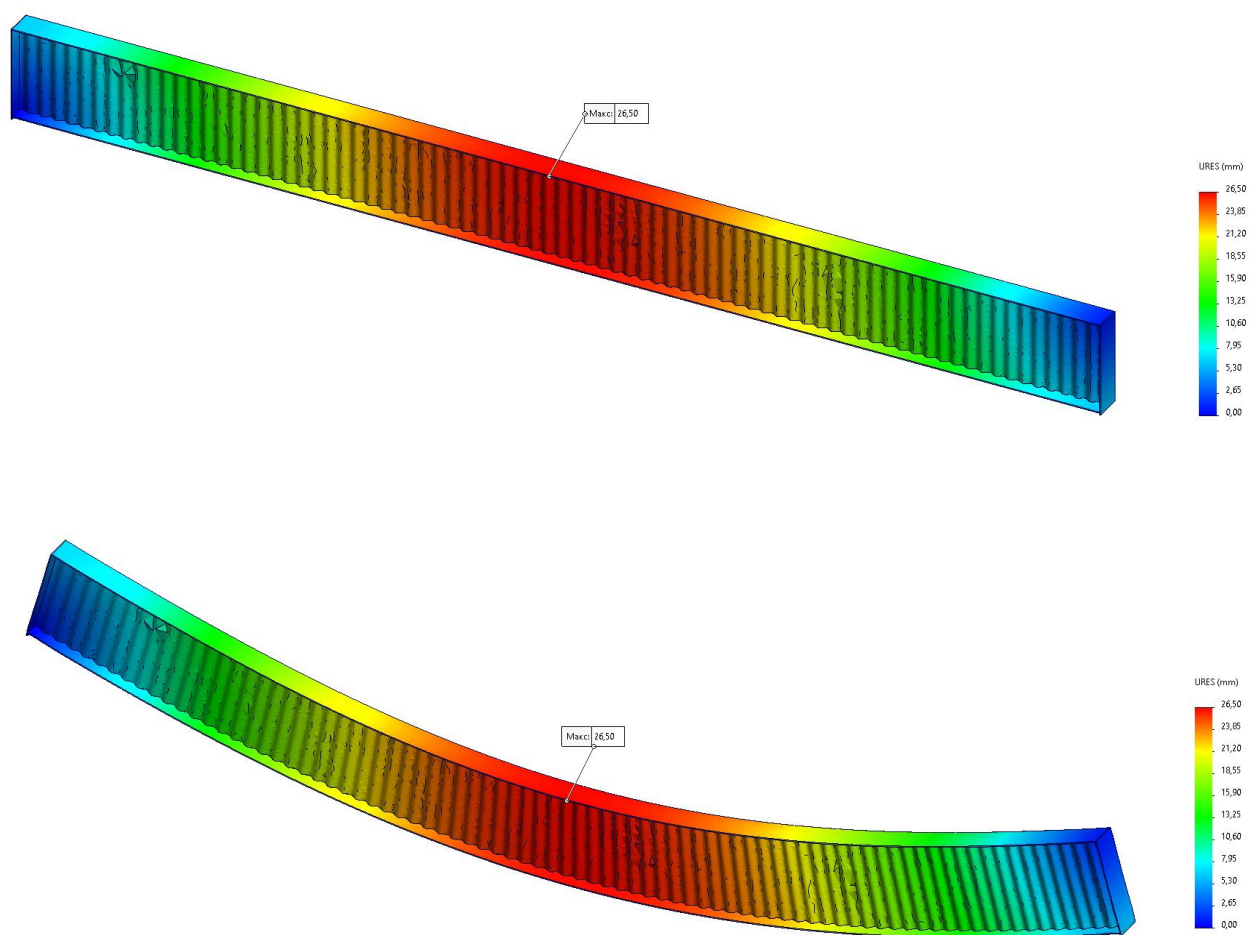


Рис.2.11 Епюра розподілу переміщень (варіант 2)

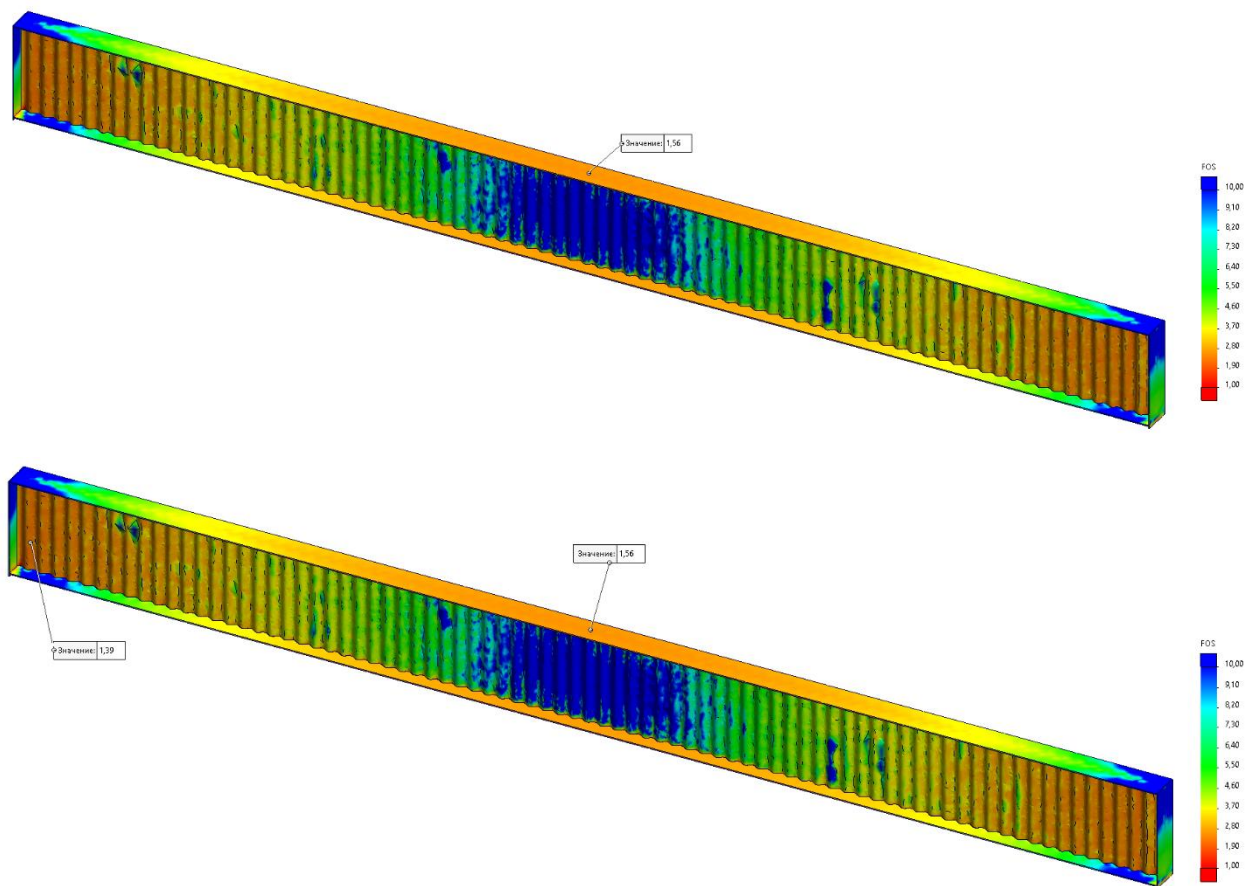


Рис. 2.13 Епюра розподілу коефіцієнта запасу міцності (варіант 2)

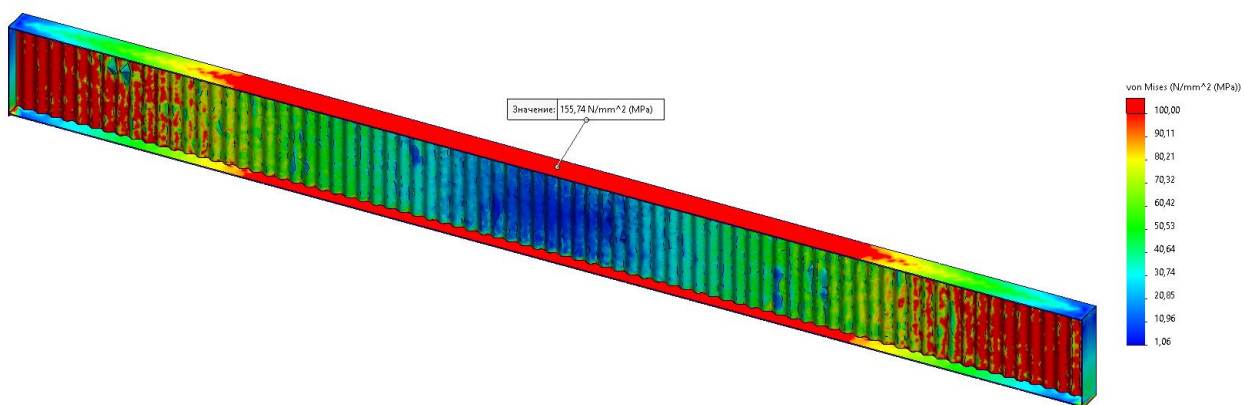


Рис. 2.14 Епюра розподілу еквівалентних напружень (за Фон Мізесом) (варіант 3)

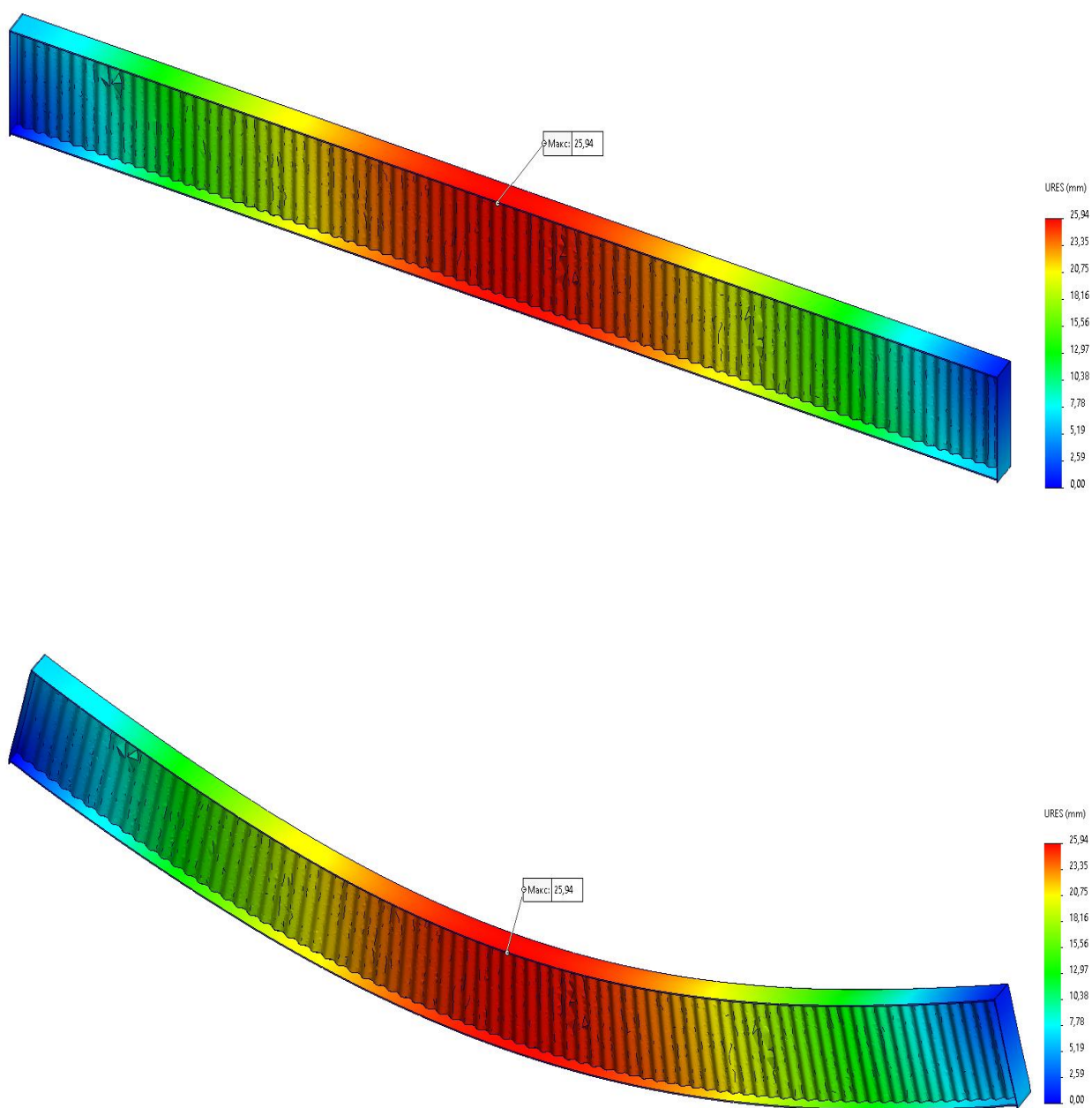


Рис.2.15 Епюра розподілу переміщень (варіант 3)

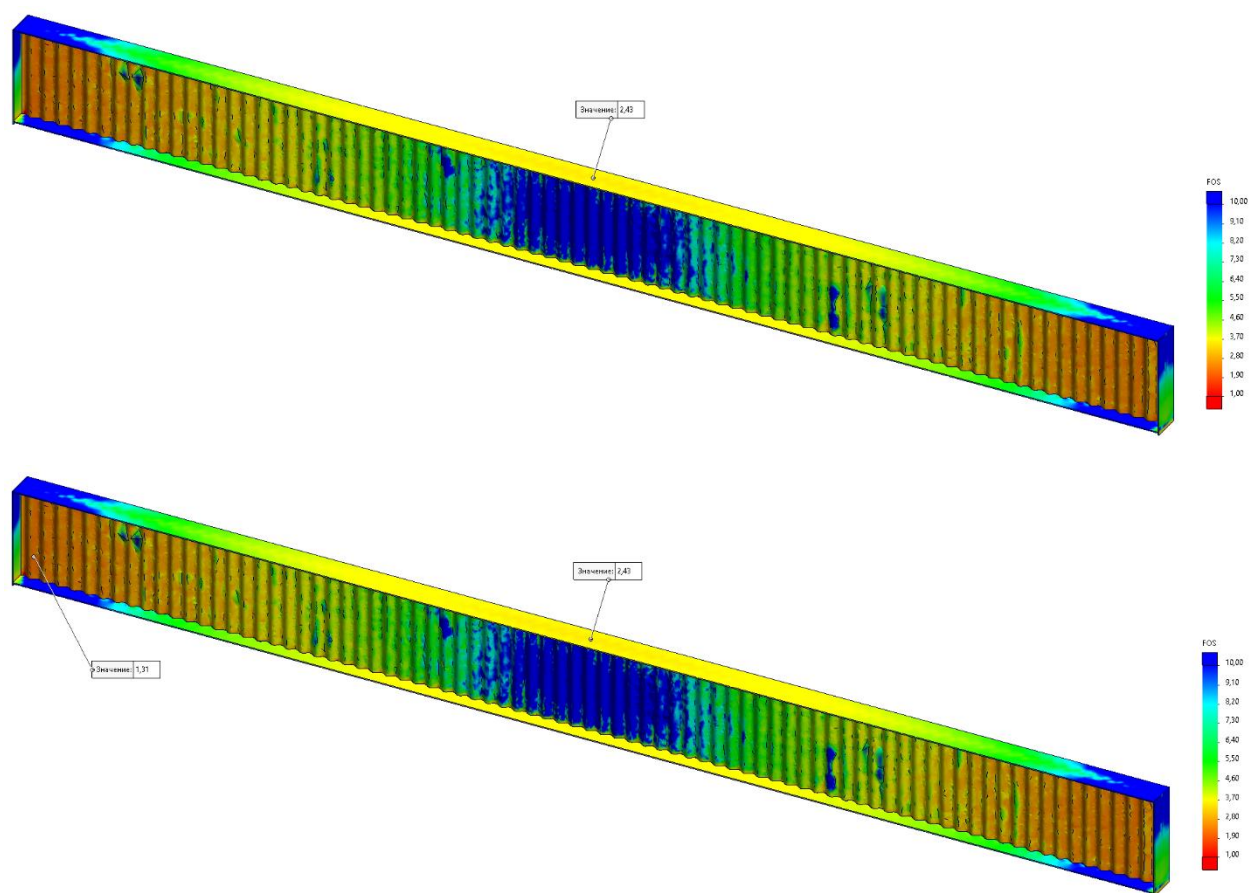


Рис. 2.16 Епюра розподілу коефіцієнта запасу міцності

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Технічне обґрунтування способу зварювання.

Для оптимізації процесу виготовлення гофрованої балки, важливо зосередитись на механізації та автоматизації зварювальних робіт. Традиційні методи зварювання, які зараз застосовуються в виробництві, виявляються надто трудомісткими і часозатратними, часто вимагаючи кілька проходів зварювання. Введення механізованих та автоматизованих методів зварювання може значно підвищити продуктивність та зменшити трудомісткість, а також покращити якість зварних швів та з'єднань [10-12.

За інформацією з наукових джерел, для зварювання металу товщиною 2-4 мм можуть бути застосовані такі методи зварювання:

- дугове;
- лазерне та електронно-променеве.

Кожен із цих методів має свої особливості та переваги в контексті конкретного застосування, і вибір методу залежатиме від специфічних вимог до зварного з'єднання в контексті виробництва гофрованих балок.

Існують певні обмеження, які стосуються застосування сучасних методів зварювання у виробництві гофрованих балок. Наприклад, використання електронно-променевого зварювання обмежено через відсутність спеціалізованого обладнання для зварювання таких конструкцій. Також існують труднощі з автоматизацією напівавтоматичного зварювання в середовищі захисних газів, яке вимагає додаткових розробок кромки перед зварюванням. Це вимагає значного розширення виробничих потужностей та збільшення чисельності персоналу, що може бути неефективно при необхідності збільшення обсягів випуску продукції.

Ручне дугове зварювання, хоч і є технічно можливим, потребує високої кваліфікації зварника та суттєвих часових витрат, що робить цей метод неприйнятним для ситуацій, де потрібно масштабувати виробництво. Це вказує

на потребу в пошуку більш ефективних та технологічно вдосконалених методів зварювання, які б могли забезпечити високу продуктивність і якість при мінімальних затратах ресурсів і часу.

При визначенні оптимального методу зварювання для виробництва балок важливо враховувати такі фактори, як матеріал виробу, товщина зварюваних елементів, важливість конструкції, обсяги виробництва та вимоги до якості зварних з'єднань. Кожен з наявних методів має свої переваги та обмеження залежно від конкретних умов застосування.

Доступні технології зварювання включають:

Ручне дугове зварювання покритим електродом: підходить для робіт, де потрібна висока точність, але має нижчу швидкість зварювання.

Напівавтоматичне зварювання в захисному газі: забезпечує високу якість швів і є ефективним при середніх обсягах виробництва.

Імпульсно-дугове зварювання у вуглекислому газі: використовується для зварювання тонких і середніх металів, забезпечуючи високу швидкість зварювання та хорошу проникність шва.

Одним із значних недоліків ручного дугового зварювання металевим електродом є низька продуктивність процесу, а також значна залежність якості зварного шва від кваліфікації та досвіду зварника. Цей метод зварювання вважається оптимальним для коротких зварних швів, розташованих у складних просторових конфігураціях, а також у випадках дрібносерійного виробництва. Використання ручного дугового зварювання є виправданим при обмеженому обсязі монтажних робіт, що вимагають високої якості з'єднань, а також при виконанні ремонтних робіт [10-12].

Зазвичай, зварювання низьколегованих сталей виконується за допомогою напівавтоматичного чи автоматичного дугового зварювання у середовищі газу, що дозволяє підвищити продуктивність та якість швів порівняно з ручними методами.

Для досягнення необхідних механічних властивостей металу шва та забезпечення його високої стійкості до утворення кристалізаційних тріщин і

пор, особливо під час зварювання високолегованих і низьколегованих сталей, застосовуються спеціальні зварювальні матеріали. Ці матеріали знижують ризик утворення тріщин завдяки легуванню шва кремнієм і марганцем, що значно підвищує його пластичність і стійкість до деформацій.

Напівавтоматичне зварювання у газі може виконуватись у всіх просторових положеннях, що робить цей метод універсальним. Збільшення сфери його застосування сприяє заміні ручного дугового зварювання, особливо у випадках, де потрібна підвищена продуктивність та стабільна якість зварних з'єднань.

Автоматичне, попри складність та високу вартість обладнання, набуло широкого поширення завдяки своїм технічним перевагам. Цей метод дозволяє забезпечити стабільність режимів зварювання, що позитивно впливає на якість виконання зварних швів.

Переваги автоматичного в порівнянні з напівавтоматичним зварюванням:

- Висока продуктивність: Автоматичне зварювання значно перевершує напівавтоматичне та ручне дугове зварювання (РДЗ) за швидкістю виконання робіт.
- Мінімальні вимоги до кваліфікації оператора: Для цього методу достатньо кваліфікованого оператора, що дозволяє зменшити залежність від висококваліфікованих зварників.
- Економія зварювальних матеріалів: Завдяки точному дозуванню та раціональному використанню матеріалів цей метод є більш економічним.

З огляду на специфіку різних методів зварювання, особливості технологічного процесу та вимоги до зварювання низьколегованих сталей, для виготовлення двотаврової гофрованої балки обрано автоматичне зварювання в середовищі газу.

Цей метод забезпечує виконання технологічних умов, необхідних для досягнення високої міцності та надійності конструкції, водночас адаптуючись до різних виробничих ситуацій і положень зварних швів.

У процесі зварювання зазвичай використовується зварювальний дріт як присадковий матеріал. Цей дріт виготовляється методом гарячого прокатування або волочіння після попереднього прокатування. На основі різних марок сталюого дроту був розроблений державний стандарт, який регламентує хімічний склад 77 марок зварювального дроту. У цьому стандарті визначаються виключно хімічний склад і розміри дроту, оскільки механічні властивості металу шва залежать від багатьох зовнішніх і технологічних факторів.

Вибір відповідного зварювального матеріалу базується на необхідності забезпечення бездефектної структури металу шва, яка відповідає вимогам експлуатації конструкції. Матеріал повинен гарантувати оптимальні властивості, що задовольняють умови надійності та довговічності виробу.

При зварюванні маловуглецевих та низьколегованих сталей найкращі результати у вигляді швів без пор досягаються завдяки використанню електродних матеріалів на основі кремнію та марганцю. Такі матеріали знижують рівень оксидних включень у металі шва, які можуть негативно впливати на його структуру, знижуючи міцність і довговічність.

Для зварювання двотаврових балок зі сталей ВСтЗпс та 16Г2АФ доцільно використовувати дріт Св08Г2С. Цей дріт підходить для роботи у всіх просторових положеннях, а отриманий наплавлений метал демонструє високу якість завдяки ефективному розкисленню. Шви, виконані цим дротом, характеризуються високими показниками міцності та пластичності.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад дроту Св08Г2С [13]

Вміст елементів, %						
С	Si	Mn	Cr	Ni	S	P
не більше						
0,05-0,11	0,70-0,95	1,8-2,1	0,20	0,25	0,025	0,03

Як захисний газ під час зварювання застосовується суміш аргону та вуглекислого газу ($\text{Ar} + \text{CO}_2$) у пропорції 75% до 25%. Така комбінація забезпечує

крупнокрапельне перенесення металу, де вуглекислий газ підсилює проплавлувальну дію аргону, створюючи рівномірний і пологий профіль шва.

Аргон, у свою чергу, сприяє стабілізації горіння дуги, мінімізує розбризкування металу і покращує якість формування шва. Проте, враховуючи специфіку крупнокрапельного режиму перенесення металу, невелике розбризкування залишається неминучим навіть за умови оптимального налаштування параметрів зварювального процесу. Ця особливість необхідна для забезпечення високої якості та міцності зварних з'єднань [13].

Для досягнення високої ефективності та якості автоматичного зварювання важливими параметрами є: сила зварювального струму, напруга дуги, швидкість зварювання, діаметр електродного дроту і швидкість його подачі до зони зварювання. Оптимізація цих показників є критичною для забезпечення стабільності процесу та надійності зварних з'єднань [7].

Для досягнення необхідних технологічних і експлуатаційних характеристик зварного з'єднання слід дотримуватись наступних умов:

- а) коефіцієнт форми провару $\phi_{np} = l/n$ - повинен бути в межах 0,8-4;
- б) коефіцієнт підсилення шва $\phi_b = l/g$ - не повинен бути більшим ніж 7...10.

Параметри режиму зварювання визначаються відповідно до типу з'єднання (рис. 3.1). Схема виконання шва при виготовленні гофрованої балки розробляється згідно з вимогами ДСТУ і реалізується методом автоматичного зварювання в середовищі газу.

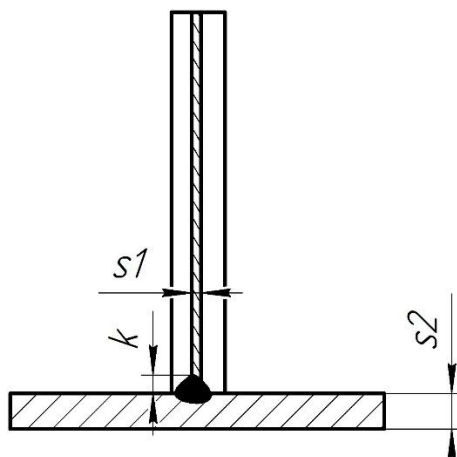


Рис. 3.1 – Схема таврового з'єднання

Враховуючи найменшу товщину елементів гофрбалки приймаємо катет шва 2 мм.

$$F_n = \frac{k^2}{2} (3.1)$$

$$F_n = \frac{2^2}{2} = 2 \text{ мм}^2.$$

Для створення швів гофрованої балки з катетом 2 мм обираємо електродний дріт діаметром $d_{\text{ел}} = 1,6 \text{ мм}$ згідно з вимогами ДСТУ.

Відповідно до літературних даних [7], для такого діаметра густина струму $j = 50 \text{ А/мм}^2$. На основі цього струм:

$$I_{36} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot j (3.2)$$

$$I_{36} = \frac{\pi \cdot 1.6^2}{4} \cdot 50 = 100.48 \text{ А}$$

Приймаємо $I_{36} = 100 \text{ А}$.

Для визначення дійсного коефіцієнта наплавлення, який залежить від полярності та типу зварювального струму, використовуємо формулу, наведеної у [8]. Цей розрахунок дозволяє врахувати вплив параметрів зварювання на продуктивність процесу і якість наплавленого металу.

$$\alpha_n = A + B \frac{I_{36}}{d_{\text{ел}}} (3.3)$$

де $A = 7.0$; $B = 0.04$.

$$\alpha_n = 7 + 0.04 \frac{100}{1.6} = 9.5 \text{ г/А} \cdot \text{год}$$

На основі відомих параметрів, таких як площа перерізу металу, наплавленого за один прохід, величина струму та коефіцієнт наплавлення, розраховуємо швидкість переміщення зварювальної дуги. Для виконання цих розрахунків використовуємо методику, описану у [7], що дозволяє забезпечити точність та ефективність зварювального процесу.

$$V_{36} = \alpha_n \cdot I_{36} \frac{1}{F_n \cdot \rho} \quad (3.4)$$

$$V_{36} = 9.5 \cdot 100 \frac{1}{2 \cdot 7800} = 6 \text{ мм/с} = 21 \text{ м/год}$$

Виходячи з вище зазначених розраховуємо напругу на зварювальній дузі. Для цього застосовуємо формулу, наведено в [8], яка дозволяє врахувати взаємозв'язок цих величин та забезпечити оптимальний режим зварювального процесу

$$U_d = 20 + I_{36} \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{d_{el}}} \pm 1 \quad (3.5)$$

$$U_d = 20 + 100 \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{1.6}} \pm 1 = 24 \pm 1 \text{ В}$$

Приймаємо $U_d = 24 \text{ В}$.

Для оцінки форми та якості провару проводиться розрахунок коефіцієнта форми. Цей коефіцієнт визначається за допомогою методики, описаної у, і дозволяє оцінити відповідність геометричних параметрів шва технологічним та експлуатаційним вимогам.

$$\psi = k'(19 - 0.01 \cdot I_{36}) \frac{d_{el} \cdot U_d}{I_{36}} \quad (3.6)$$

де $k' = 1$.

$$\psi = 1(19 - 0.01 \cdot 100) \frac{1.6 \cdot 24}{100} = 7$$

$$h = 0.076 \sqrt{q_n \frac{1}{\psi \cdot V_{36}}} \quad (3.7)$$

$$q_n = I_{36} \cdot U_{\partial} \cdot \frac{\eta}{V_{36}}, \quad (3.8)$$

де $\eta = 0.85$.

$$q_n = 100 \cdot 24 \cdot \frac{0.85}{21} = 971.42 \frac{\text{Дж}}{\text{см}}$$

$$h = 0.076 \sqrt{\frac{971.42}{7 \cdot 21}} = 0.2 \text{ мм}$$

Для визначення ширини зварного шва використовуємо дані про глибину провару та коефіцієнт форми шва:

$$e = \psi \cdot h, \quad (3.9)$$

$$e = 7 \cdot 0.2 = 1.4 \text{ мм}$$

Виходячи з отриманого значення ширини зварного шва, розраховуємо висоту його випуклості.

$$q = (1.35 \dots 1.4) \frac{F_n}{e} \quad (3.10)$$

$$q = 1.4 \cdot \frac{2}{1.4} = 2_{мм}$$

$$H = h + q, \quad (3.11)$$

$$H = 2 + 0.2 = 2.2_{мм}$$

$$h_n = \sqrt{F_n}, \quad (3.12)$$

$$h_n = \sqrt{2} = 1.41_{мм}$$

Глибина проплавлення основного металу є важливим показником якості зварного з'єднання, оскільки вона визначає рівень проникнення зварювальної дуги у матеріал:

$$h_0 = H - h_n, \quad (3.13)$$

$$h_0 = 2.2 - 1.4 = 0.8_{мм}$$

$$V_{n.д.} = \frac{4 \cdot \alpha_n \cdot I_{36}}{\pi \cdot d_{ел}^2 \cdot \gamma} \quad (3.14)$$

де $\gamma = 7800 \text{ кг/м}^3$

$$V_{n.д.} = \frac{4 \cdot 9.5 \cdot 100}{3.14 \cdot 1.6^2 \cdot 7800} \approx 60 \frac{м}{год}$$

Усі отримані результати розрахунків приведено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Режимы автоматичного зварювання гофрованої балки

Діаметр електродного дроту, мм	Сила зварювального струму, А	Напруга на дузі, В	Швидкість зварювання, м/год	Швидкість подачі дроту, м/год
1.6	100	24	21	60

Враховуючи запропонований спосіб і режими зварювання, з метою забезпечення якості та ефективності технологічного процесу виготовлення гофрбалок, будемо застосовувати роботизовані зварювальні комплекси. Такий підхід дозволить забезпечити необхідні якісні показники, зменшити трудові людські ресурси та повністю автоматизувати процес виробництва.

Для цього застосовуємо робот ARC Mate 100 iC/12 (рис. 3.2, табл. 3.3) та систему живлення і керування ним A7 MIG Welder 450 (рис. 3.3 табл. 3.4-3-6).



Рис. 3.2 – Робот ARC Mate 100iC/12 [14]

Зварювальний робот ARC Mate 100iC/12 — це високоточне, продуктивне і гнучке рішення, розроблене спеціально для виконання завдань дугового зварювання та суміжних виробничих процесів. Завдяки інноваційній конструкції, передовим технологіям і адаптивності, цей робот ідеально підходить для застосування в сучасних автоматизованих виробничих системах.

Табл. 3.3 – Технічні дані ARC Mate 100iC/12 [14]

Максимальне навантаження на кисть	12 кг
Досяжність	1420 мм
Керованих осей	6
Повторюваність	±0,03 мм
Вага	130 кг
Середнє споживання енергії	1 кВт

Компактний та ергономічний дизайн робота дозволяє інтегрувати його у виробничі лінії з обмеженим простором. Конструкція відповідає класу захисту IP67, що робить робота стійким до пилу, вологи та агресивних середовищ. Це дозволяє використовувати ARC Mate 100iC/12 у важких промислових умовах без втрати ефективності.

Однією з ключових переваг робота є його гнучкість та інтеграційні можливості. ARC Mate 100iC/12 легко адаптується до різноманітних зварювальних систем і програмного забезпечення, дозволяючи ефективно виконувати завдання різної складності. Завдяки високій швидкості руху осей та інтуїтивно зрозумілому інтерфейсу програмування, налаштування робота займає мінімум часу, а навчання нових операцій не вимагає спеціальних навичок.

Програмне забезпечення забезпечує ефективний контроль усіх параметрів зварювання, оптимізуючи енергоспоживання та мінімізуючи втрати матеріалів. Це дозволяє значно знизити витрати на виробництво та забезпечити високу якість продукції.

Використання ARC Mate 100iC/12 дозволяє значно підвищити продуктивність виробництва завдяки швидкому виконанню операцій і мінімізації браку. Надійність конструкції знижує витрати на обслуговування, а універсальність і гнучкість у налаштуванні дозволяють швидко адаптувати робота до нових виробничих завдань.

В якості системи живлення та керування згаданим роботом застосовуємо систему A7 MIG Welder 450. Вона представляє собою інноваційне рішення для

автоматизованого дугового зварювання, яке легко інтегрується з роботизованими системами будь-якого виробника. Це багатофункціональний, оптимально збалансований комплекс, що включає в себе зварювальний пальник, механізм подачі дроту, джерело живлення та систему охолодження. Усі компоненти системи спроектовані з урахуванням найсуворіших вимог стандартів Кемпрі, що забезпечує надійну роботу навіть у складних виробничих умовах.



Рис. 3.3 – Система живлення та керування A7 MIG Welder 450 [14]

Однією з ключових переваг цього обладнання є використання програмного забезпечення Wise від Кемпрі, яке дозволяє значно підвищити ефективність зварювальних процесів. Завдяки збільшеній швидкості зварювання та оптимізації продуктивності, система забезпечує високу якість виконання робіт. Універсальність програмного забезпечення дозволяє використовувати одне і те ж обладнання для виконання широкого спектра задач, від тонкого налаштування параметрів до роботи з різними матеріалами.

Інтерфейс управління системи базується на сучасних вебтехнологіях і забезпечує доступ до джерела живлення через будь-який стандартний браузер на звичайному комп'ютері. Це значно спрощує процеси налаштування, моніторингу та управління обладнанням, дозволяючи користувачам заощаджувати час і забезпечувати високий рівень контролю за якістю зварювальних операцій протягом усього виробничого циклу.

Загалом, A7 MIG Welder 450 поєднує передові технології, зручність в експлуатації та надійність, що робить його ідеальним вибором для сучасних виробництв, які прагнуть автоматизувати свої процеси без втрати якості.

Таблиця 3.4 – Технічні дані A7 MIG Welder 450 [14]

Напруга живильної мережі 1 ~ 50/60 Гц	N/A
Напруга живильної мережі 3 ~ 50/60 Гц	400 В, -15... +20 %
Підключення мережевого кабелю	4G6 (5м)
Струм живлення (максимальний)	32А
Струм живлення (ефективний)	25А
Запобіжник (затримка)	35А
Напруга холостого ходу (пікова)	U0 = 80 В – 98 В
Холоста напруга (середня)	85 В – 103 В
Діапазон робочої температури	-20... +40
Потужність генератора	35 кВА
Зовнішні габарити д х ш х в	610 x 240 x 520 мм
Вага (без аксесуарів)	40.2 кг
Вага (з кабелем мережі)	42.6 кг
Рівень захисту	IP23S
Ефективність (100% ПВ)	87%
Фактор сили при максимальному струмі	0.88

Таблиця 3.5 – Технічні дані A7 Mig [14]

Температура зберігання	-40... +60
Клас температур	155 (F)
Клас	F
Потужність короткого замикання	5.5 MVA
Діапазон зварювання	20 A / 12 V – 450 A / 46 V
Вихід при 60% ПВ	450 A
Вихід при 100% ПВ	350 A
Джерело живлення для допоміжного пристрою	50 В DC / 100 W
Максимальна повна потужність	22 kVA
Потужність холостого ходу	25 W
Джерело живлення для блоку охолодження	24 V DC / 50 VA

Таблиця 3.6 – Технічні дані подаючого пристрою [14]

Діапазон температур роботи	-20...+40
Габаритні розміри	380 x 250 x 170 mm
Вага (без аксесуарів)	7.8 kg
Рівень захисту	IP21S
Температура зберігання	-40...+60
Клас	A
Тип з'єднання пальником	EURO
Подаючий механізм	4-ролковий, подвійний мотор
Діаметр дроту Fe (суцільна)	0.8 – 1.6
Діаметр дроту Fe (порошкова)	1.0 – 1.6
Діаметр дроту Ss	0.8 – 1.6
Діаметр дроту Al	1.0 – 2.4
Діаметр дроту CuSi	0.8 – 1.2
Регулювання подачі дроту	0.5 – 25 м/хв
Робоча напруга (Безпечна напруга)	50 В DC

Для доварювання та виправлення дефектів в атмосфері вуглекислого газу та аргону використовується зварювальний напівавтомат моделі Jasic MIG – 350 (рис. 3.4, табл. 3.7), який є портативним, відкритого типу і працює за принципом штовхання. Ця установка ефективно застосовується для виконання стикових та кутових швів на матеріалах із товщиною до 4 міліметрів.



Рис. 3.4 – Напівавтомату Jasic MIG – 350 [15]

Таблиця 3.8 – Технічні дані Jasic MIG – 350 [15].

Вид зварювання/різання	MMA MIG TIG
Тип зварювального струму	DC
Додаткові режими	Без пульсації
Діапазон робочої напруги	16.5 - 31.5 В
Напруга мережі живлення	380 В $\pm$ 15% (3 фази)
Зварювальний струм MIG/MAG (min)	50
Зварювальний струм MIG/MAG (max)	350
ПВ (40 °C)	40 %
Зварювальний струм (ПВ 100%)	221 А
Споживана потужність (повна)	15 кВА
Напруга холостого ходу	62 В
Швидкість подачі дроту	1.5 - 18 м/хв.
Пристрій подачі	вбудований
Кількість роликів	4
Діаметр зварювального дроту	0.8/0.9/1.0/1.2 мм
Коефіцієнт потужності (cos ϕ)	0.7
ККД	85 %
Клас ізоляції	F
Ступінь захисту	IP21S
Габаритні розміри (Д x Ш x В)	900 x 450 x 755 мм
Вага	52 кг
Споживана потужність (активна)	10.5 кВт

3.2 Опис технологічного процесу

Процес виготовлення балок складається із ряду операцій. На кожній із операцій проводять контроль якості.

Послідовність виконання операцій є наступна:

01. Контроль вхідних матеріалів:

- 1) сертифікаційна відповідність;
- 2) відхилення від площинності 5 мм/м;
- 3) товщину 2,0 мм, який постачається в рулонах (рис. 3.5);
- 4) товщину 12,0 мм, який постачається листами довжиною 12 м (рис. 3.6);

- 5) хім. склад партії листового прокату за відсутності сертифіката;
- 6) Інструмент: лінійка вимірювальна: межа виміру 1000 мм, ціна поділки 1,0 мм, кутомір, штангенциркуль: межа виміру 1000 мм, точність виміру 0,1 мм.



Рис. 3.5 – Вид постачання листопрокату для стінки

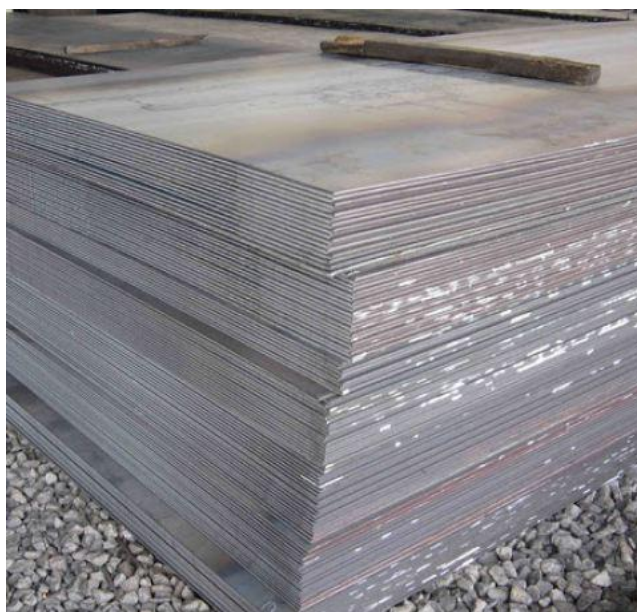


Рис. 3.6 – Вид постачання листового прокату для поясів

02.Правлення листового прокату. Провести правку металю товщиною 12 мм із застосуванням правильних машин типу МЛЧ 1725 (рис. 3.7)



Рис. 3.8 - Машина МЛЧ 1725 [16]

03.Різання.

Виконати різання заготовок для стінки балки згідно з кресленнями: довжина 12000мм, ширина: 976 мм; товщина 2мм (1шт);

Виконати різання заготовок балки згідно з кресленнями: довжина 12 000 мм, ширина 300 мм; товщина 12 мм (2 шт).

Для реалізації цієї операції застосовуємо лінію для повздовжнього різу (рис. 3.8) (різання металю з рулону) та багаторізакову машину CNCMS – 3000 (рис. 3.9).

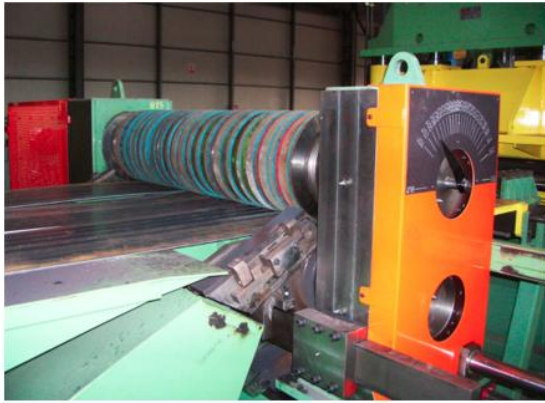


Рис. 3.8 – Лінія поздовжнього різку [17]

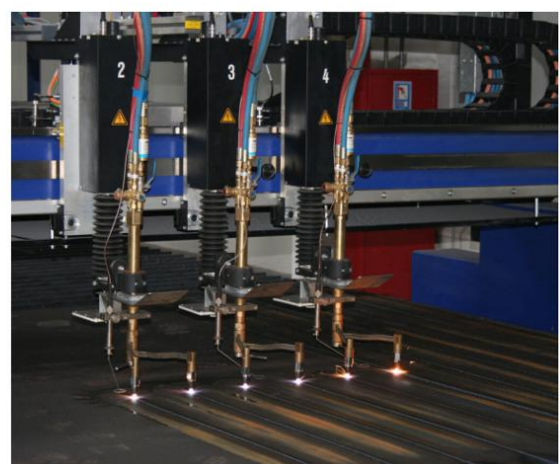


Рис. 3.9 – Машина CNCMS-3000 [17]

04.Гофрування вертикальної стінки.

Головним конструктивним елементом гофробалки є стінка хвилеподібної форми, яка забезпечує високу міцність і стійкість виробу. Для її виготовлення використовується холоднокатана сталь у рулонах, товщина якої варіюється в межах 2–4 мм. Завдяки таким характеристикам матеріалу гофробалка має необхідну міцність та довговічність, що забезпечує її надійність у різних конструкціях.

Початковим етапом процесу є підготовка матеріалу. Рулон холоднокатаної сталі встановлюється у блок розмотувача, що забезпечує рівномірну подачу листа для подальшої обробки. Заготовка проходить через формоутворюючі ролики, які створюють характерну хвилеподібну форму стінки (рис. 3.10). Цей процес є ключовим для надання виробу необхідних експлуатаційних властивостей. Хвилеподібна стінка, що вийшла з формувальних роликів, подається на транспортер. На цьому етапі деталі збираються в єдину конструкцію гофробалки, виконуються додаткові операції з обробки, якщо це передбачено технологічним процесом.



Рис. 3.10 – Формування гофри вертикальної стінки [17]

05.Складання та зварювання балки.

Складання балки реалізують із застосуванням складальної установки (рис. 3.11). Складання здійснюють у наступній послідовності:

- 1) Встановлюють верхній пояс в стенд-установку;
- 2) Встановити вертикальний гофрований лист;
- 3) Виконати операції зварювання пояса і стінки в кондукторі.
- 4) Провести кантування звареного тавра.
- 5) Встановити нижній пояс гофрбалки.
- 6) Складальні елементи фіксують за допомогою притискачів та виконують зварювання.

Процес зварювання здійснюють наступним чином:

1. Виконати приварювання поясів до стінки.
2. Виконати зварювання у вертикальному положенні гофрбалки під кутом 60° .
3. Після виконання першого повздовжнього шва балку обертають на 180° і виконують зварювання другого шва.
4. Порядок накладання швів згідно рис. 3.11.
5. Провести зачищення швів та виправлення дефектів.

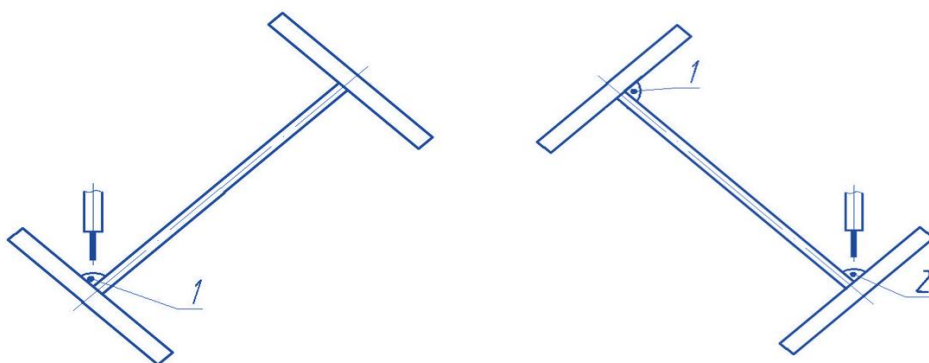


Рис. 3.11 – Порядок накладання швів при виготовленні гофрбалки

06.Опоряджувальні операції.

Після завершення процесу зварювання гофробалки проходять додаткові операції обробки, які забезпечують їхню відповідність технічним вимогам і готовність до використання в кінцевих конструкціях.

Основні етапи фінальної обробки.

- I. Транспортування до пилки з ЧПУ. Зварені балки автоматично подаються на транспортер, який спрямовує їх до пилки з числовим програмним управлінням

(ЧПУ). Цей етап забезпечує високоточне обрізання балок до необхідної довжини, що відповідає заданим технічним характеристикам. ЧПУ забезпечує автоматизацію процесу, знижуючи ризик помилок і підвищуючи продуктивність.

II. Свердління отворів. Після обрізки балки проходять етап свердління. На цьому етапі з високою точністю виконуються отвори, необхідні для подальшого монтажу конструкції. Свердління проводиться відповідно до проєктної документації, що дозволяє забезпечити зручність і надійність з'єднання елементів гофрбалки з іншими конструктивними деталями.

III. Нанесення маркування. На завершальному етапі на готові балки наноситься маркування. Це може включати серійний номер, параметри виробу або іншу інформацію, необхідну для ідентифікації продукції та її використання на будівельному майданчику чи в інших галузях. Процес маркування виконується автоматизовано, що забезпечує чіткість та довговічність нанесених позначень.

07. Очищення.

Для забезпечення високої якості продукції всі готові вироби проходять дробоструминну обробку на установці прохідного типу (рис. 3.12). Цей етап є надзвичайно важливим для очищення металевих поверхонь та підготовки їх до нанесення захисних лакофарбових покриттів.



Рис. 3.12 – Процес очищення гофробалок [17]

Обробка виконується за допомогою високошвидкісного потоку металевого дробу, який під дією спеціально налаштованих параметрів спрямовується на поверхню виробів. У процесі застосовуються індивідуально підібрані режими обробки, що забезпечують оптимальне видалення окалини, іржі, забруднень та залишків зварювальних матеріалів.

Подача виробів у дробоструминну камеру здійснюється за допомогою рольгангів, які забезпечують стабільне переміщення конструкцій у горизонтальному або вертикальному положенні. Усі операції керуються через електричний шаф управління, що гарантує автоматизацію процесу.

Дробоструминні металеві установки розташовані під різними кутами, таким чином, щоб забезпечити максимальне покриття поверхні оброблюваного виробу. Це дозволяє досягти повного очищення металу, незалежно від складності геометрії конструкції. Металоконструкція знаходиться у центрі зони дії пучків дробу, що сприяє рівномірному та ефективному очищенню. Такий підхід мінімізує ризик пропусків або недостатньої обробки окремих ділянок.

Ця технологія забезпечує підготовку виробів до подальших етапів обробки, таких як фарбування або нанесення захисних покриттів, відповідно до сучасних стандартів якості.

08. Контрольні операції.

Контрольні операції у процесі виготовлення зварних конструкцій охоплюють детальний аналіз на кожному з етапів виробництва. Вони мають на меті забезпечити високу якість кінцевого продукту та відповідність всім технічним вимогам. Основні аспекти контрольних операцій включають:

- Контроль вхідних зварювальних матеріалів: Перевірка якості та відповідності матеріалів заданим стандартам перед їх використанням у виробництві.
- Контроль якості виконання зварювальних робіт: Оцінка дотримання технологічних процесів зварювання, включаючи заготівельні, складальні та опоряджувальні операції.

- Контроль зварних з'єднань та готової продукції: Огляд зварних швів та оцінка готової конструкції на предмет дефектів та невідповідностей.

Етапи контролю готової продукції включають:

- Контроль зовнішнім оглядом (візуальний контроль): Перший етап, де відбувається оцінка зовнішнього стану швів, виявлення видимих дефектів та недоліків.
- Контроль ехо-імпульсним методом: Другий етап, що дозволяє ідентифікувати внутрішні дефекти за допомогою дефектоскопа NOVOTEST УД – 3701 (рис. 3.13).

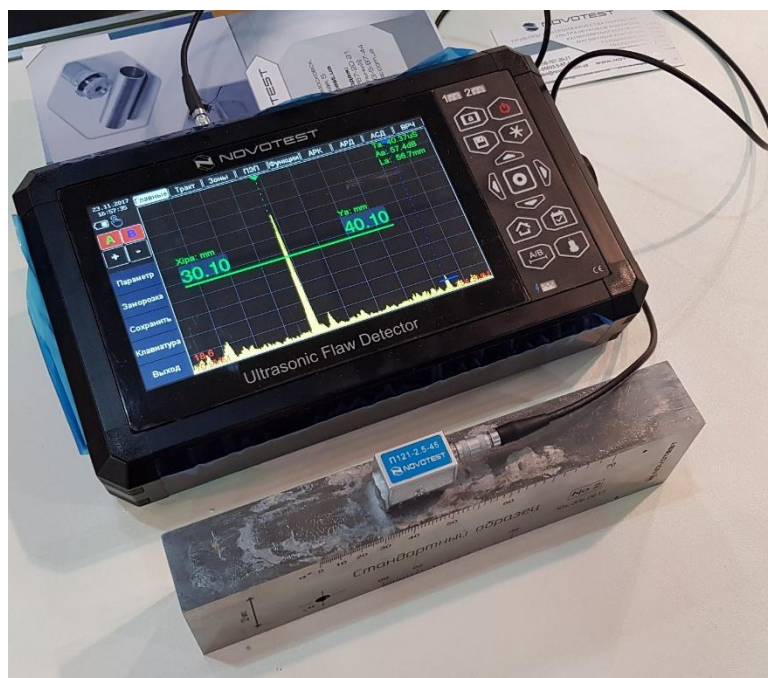


Рис. 3.13 – Дефектоскоп NOVOTEST УД – 3701 [18]

09. Фарбування.

Фарбувальна ділянка є ключовою складовою технологічного циклу підготовки готових металевих виробів до експлуатації. Для нанесення лакофарбових покриттів використовується сучасне обладнання для пневматичного розпилення, що забезпечує рівномірність покриття та високу якість фінішного шару. Для фарбування використовується алкідний ґрунт по металу, який є ефективним захисним покриттям.

4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

4.1 Розрахунок затискних пристроїв кондуктора

Розрахунки проводимо згідно літератури [19]/ Вихідними даними для розрахунку є: стінка 976×2 мм, пояс 300×12 мм, катет 2 мм, довжина балки $L = 12000$ мм.

Визначаєм усадкову силу (кгс) по осі швів:

після зварювання першого шва

$$P_{yc1} = 1,7Dk^2 \quad (4.1)$$

де $D = 30\,000$.

$$P_{yc1} = 1,7 \times 30000 \times 0,2^2 = 2040 \text{ кгс}$$

Зусилля, що виникають на затискачах кондуктора під впливом усадкових сил:

$$q_1 = \frac{9,6P_{yc1} \times e}{L^2} \quad (4.2)$$

$$q_1 = \frac{9,6 \times 2040 \times 10,6}{1200^2} = 0,1442 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} = 14 \text{ кН}$$

При встановленні верхніх важільних затискачів із кроком у 1 м кожен із них має витримувати зусилля q_1 (кгс). Захвати, розташовані на опорній балці кантувача (нижні затискачі), розташовуються з тим самим інтервалом і забезпечують фіксацію балки, запобігаючи її деформації після завершення зварювання обох швів. Таким чином, кожна пара захватів (12) повинна створювати зусилля фіксації P_2 (кгс) для надійного утримання пояса тавра.

Під час зварювання балки в затиснутому стані можливе виникнення поперечної усадки кутового шва, що може спричинити згинаючі напруги в зоні

шва, які перевищують межу плинності металу σ_t . Для уникнення таких ситуацій зусилля бічного притискання P_2 (рис. 3.1) необхідно обмежити таким чином, щоб викликані ним згинаючі напруги σ не перевищували допустимого рівня напруги $[\sigma]$.

$$P_2 l_3 = W[\sigma] \quad (4.3)$$

$$W = \frac{b \times h^2}{6} \quad (4.4)$$

де $b = 100$ см, $h = 0,7$ см, $l_3 = 19$ см;

$[\sigma] = 2000$ кгс/см² = 196 МПа

$$P_2 = \frac{b \times h^2}{l_3 \times 6} = \frac{100 \times 0.7^2}{19 \times 6} = 0.4298 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} = 42 \text{ кН}$$

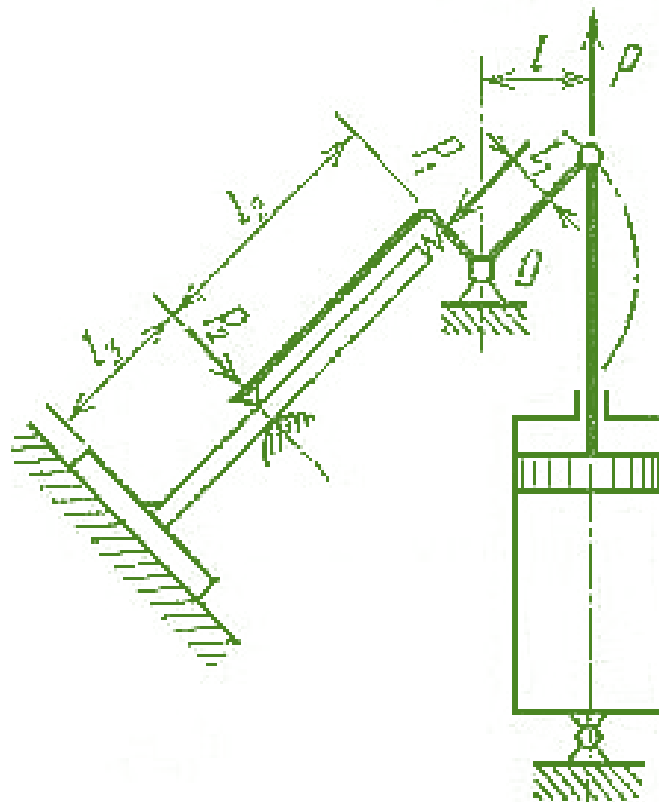


Рис. 4.1 - Розрахункова схема важільного затискача

Від сили P_2 виникає прогин, протилежного напрямку: $f = P_2 l_3^3 / 3EJ$. При $\Delta_0 > f$, то виникне зазор між стінкою і кондуктором:

$$\Delta = l_3 \times tg(\alpha) - \frac{4P_2 \times l_3^3}{E \times b \times \delta^3} \quad (4.5)$$

де $tg(\alpha) = 0,01$.

$$\Delta = 0,19 \times 0,01 - \frac{4043 \times 0,19^3}{2 \times 10^{11} \times 1 \times 0,002^3} = -0,0154 \text{ м}$$

$$S_1 = P_1 + fP_2, \quad (4.6)$$

де $f = 0,15$ – коефіцієнт тертя сухої сталі об сталь.

З урахуванням коефіцієнта запасу 1,25 знаходимо P_1 :

$$P_1 = 1,25(S_1 - fP_2). \quad (4.7)$$

$$P_1 = 1,25 \times (14 - 0,15 \times 42) = 9,60 \text{ кН}$$

$$P = \frac{P_1 l_1 + P_2 l_2}{l} \quad (4.8)$$

$$P = \frac{9,6 \times 0,06 + 42 \times 0,21}{0,09} = 104,4 \text{ кН}$$

У розглянутому кондукторі $l = 9 \text{ см}$; $l_1 = 6 \text{ см}$; $l_2 = 21 \text{ см}$.

$$Q = \sqrt{(P_1 + 0,7P)^2 + (P_2 + 0,7P)^2} \quad (4.9)$$

$$Q = \sqrt{(9.6 + 0.7 \times 104.4)^2 + (42 + 0.7 \times 104.4)^2} = 141.7 \text{ кН}$$

Момент тертя на осі шарніра

$$M_{\text{тр}} = Q f_1 r = f_1 r \sqrt{(P_1 + 0.7P)^2 + (P_2 + 0.7P)^2} \quad (4.10)$$

де $f_1 = 0.1$ – коефіцієнт тертя в шарнірі; $r = 2 \text{ см}$ – радіус осі шарніра.

$$\begin{aligned} M_{\text{тр}} &= Q f_1 r = f_1 r \sqrt{(P_1 + 0.7P)^2 + (P_2 + 0.7P)^2} \\ &= 141.7 \times 0.1 \times 0.02 = 0.2834 \text{ кН} \times \text{м} \end{aligned}$$

Для подолання цього моменту тертя необхідно додаткове зусилля на штоку:

$$P_{\text{тр}} = \frac{M_{\text{тр}}}{l} = f_1 \frac{r}{l} \sqrt{(P_1 + 0.7P)^2 + (P_2 + 0.7P)^2} \quad (4.11)$$

$$P_{\text{тр}} = \frac{0.28}{0.09} = 3.1 \text{ кН}$$

$$D = \sqrt{\frac{4P}{\pi q \eta}} \quad (4.12)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 104.4}{3.14 \times 19610 \times 0.8}} = 0.029 \text{ м}$$

де $q = 20 \text{ кгс/см}^2$ – тиск масла в циліндрі; $\eta = 0.8$.

Хід поршня визначається з конструктивних міркувань (рис. 4.1) і може бути прийнятий $h = 20 \text{ см}$.

4.3 Опис роботи запропонованих зварювальних пристосувань

Складально-зварювальний кондуктор (рис. 4.2), який використовується для формування та зварювання двотаврових балок з максимальною довжиною до 6 метрів, дозволяє здійснювати автоматизоване електродугове зварювання без необхідності попередніх електроприхваток. Конструктивно цей пристрій оснащений можливістю виконання повороту зварювальної деталі на 90 градусів, що є оптимальним для зварювання під флюсом у положенні, відомому як "шов у човник". Це особливо сприяє ефективності зварювання, забезпечуючи високу якість отриманого з'єднання.

Конструкція цього обладнання включає три ключові елементи:

- I. Основа (станина) №15, що слугує монтажною платформою для усіх затискних та поворотних (кантовочних) механізмів, а також для колони №1, яка має напрямний рейковий шлях для переміщення зварювального автомата.
- II. Поворотна опорна балка №3 оснащена кліщовими захватами №12 для фіксації пояса складаємої двотаврової балки.
- III. Система важелів №7, призначена для здійснення тиску на стінку двотавра, щоб забезпечити її щільне прилягання до пояса та бічної опорної балки складального кондуктора №9.

Процес роботи кондуктора розгортається наступним чином. На опорні планки поворотної балки №3 розміщується поясний лист №10 зібраної двотаврової балки, який фіксується за допомогою кліщових захватів №12. Ці захвати активуються пневмоциліндрами №14, котрі з'єднані з системою «ламких» важелів №13. Така конструкція забезпечує синхронізацію руху кліщів, що сприяє точному центруванню пояса відповідно до осі збираного тавра. Робочі поверхні кліщів оброблені таким чином, що вони не тільки затискають пояс збоку, але й тиснуть його до опорної поверхні балки кондуктора №3, завдяки їх скошеним, загартованим та шліфованим поверхням.

Після початкового центрування та затиснення пояса балки в конструкції кондуктора розміщується її стінка №6, яка одночасно притискається до поясу та

бічної опорної балки кондуктора №9 за допомогою поворотних важелів №7 з подвійною дією. Унікальна конструкція цього важеля дозволяє точно регулювати зусилля затиснення між двома точками застосування: тиск P_1 на верхню частину листа з допомогою пружин №8 для забезпечення тісного прилягання стінки до пояса двотавра, та тиск P_2 на бічну поверхню стінки через балансир №5, що забезпечує її притиск до опорної балки кондуктора №9. Налаштування пружин №8 дозволяє адаптувати інтенсивність тиску P_1 для оптимального притискання стінки до поясу.

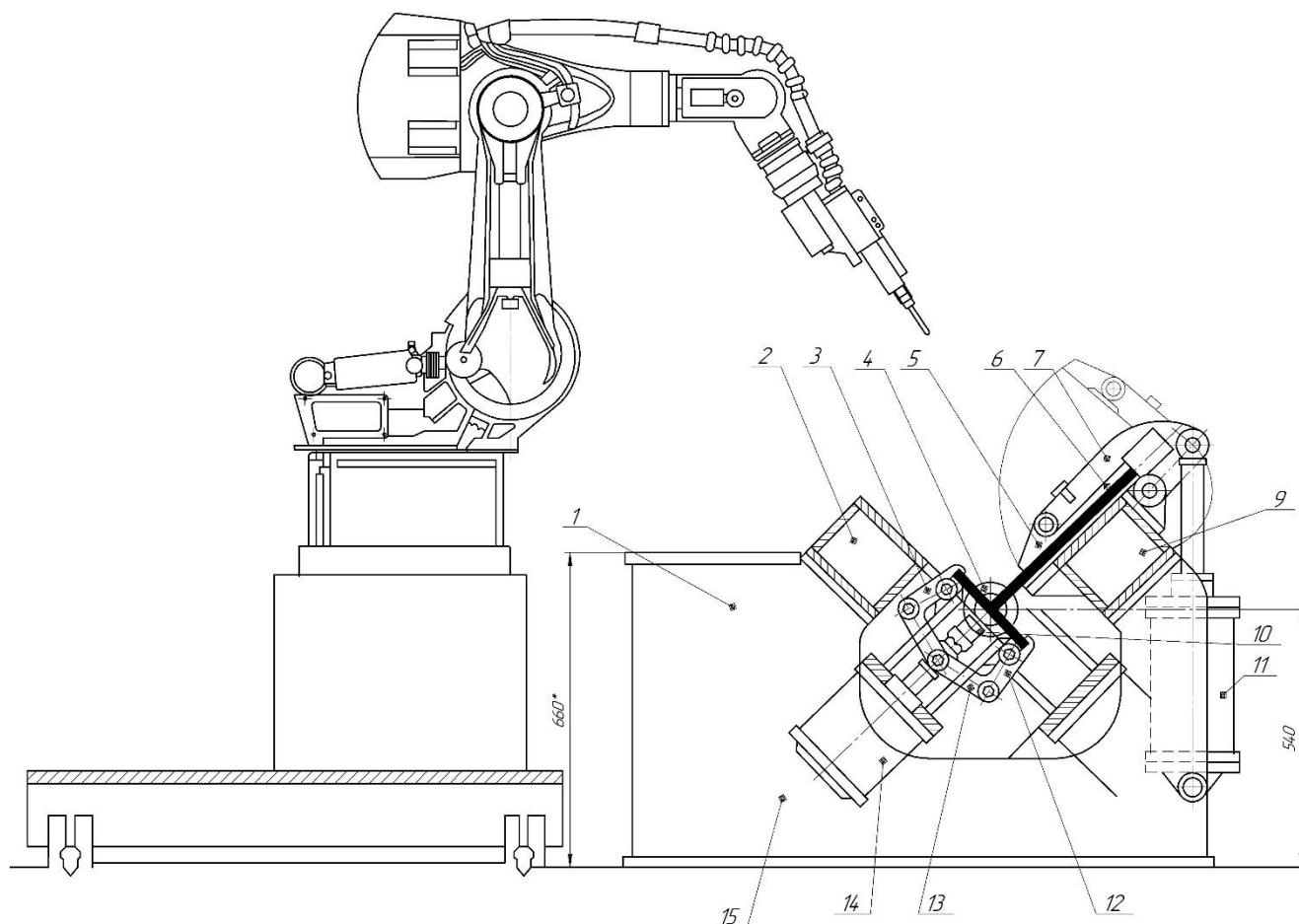


Рис. 4.2 – Установка-кондуктор

Кожен важіль №7 оснащений парою пружинних стаканів №8, розміщених з обох боків його корпусу. Це забезпечує адекватну фіксацію стінки і її надійне

прилягання до поверхні опорної балки. На кінці важеля №9 встановлено шарнірний балансір №5, який здійснює рівномірний розподіл сили P_2 між двома точками, по $0,5 P_2$ на кожну. Важіль активується за допомогою гідроциліндра №11, що дозволяє йому обертатися та забезпечувати необхідний тиск для затиску стінки тавра.

Процес складання таврової балки завершується і відразу ж розпочинається зварювання першого шва за методом "у човник" за допомогою автоматизованого обладнання. Завершивши зварювання першого шва, верхні притискні важелі №7 відводяться назад за допомогою гідроциліндрів, що дозволяє відпустити стінку балки. Далі, опорна балка кондуктора-кантувача №3 разом із виробом, що залишається в ній закріпленим, обертається на 90 градусів навколо своєї осі №4, переставляючи зварювальну балку у положення "човник" для зварювання наступного шва. Таким чином, балка спирається на ліву опору кондуктора №2. Після завершення зварювання другого шва, готова таврова балка вивільняється з усіх затискачів і видаляється з кондуктора. Важливо, що ось повороту кантувача №4 розміщена таким чином, що лінія зварювання не зазнає зміни свого геометричного положення під час повороту, що усуває необхідність перестановки зварювальної головки між швами.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Заходи для захисту від ураження електричним струмом в спроектованому цеху (дільниці)

Основними вимогами безпеки, що ставляться до конструкції машин та механізмів, є безпека для здоров'я та життя людей, надійність та зручність експлуатації [20].

Загальні вимоги до виробничих процесів регламентуються стандартом. Вони передбачають: усунення безпосереднього контакту працівників з вихідними матеріалами, заготовками, напівфабрикатами, готовою продукцією та відходами виробництва, котрі спричиняють небезпечну дію.

Оскільки при виготовленні двотаврової балки застосовується зварювання під шаром флюсу, тому основні заходи з техніки безпеки пов'язані з можливістю ураження оператора електричним струмом, опіків від розплавлених частин металу чи шлаку, наявності рухомих частин приводу лінії і забруднення атмосфери.

При зварюванні під шаром флюсу ураження струмом високої напруги можливе, коли машина незаземлена, чи при пробії трансформатора, при перемиканні напруги без вимкнення трансформатора від мережі. У зварювальних трансформаторах передбачаються системи блокування, що запобігають ураженню струмом високої напруги, наприклад закрито доступ до перемикача при не вимкненому первинному колі; дверцята шаф, пультів, станин з відкритими струмоведучими частинами, що перебувають під напругою, мають блокування, що забезпечує зняття напруги при їх відкриванні.

Основними заходами захисту від ураження електричним струмом є:

- уникнення контакту людини з струмоведучими частинами, які знаходяться під напругою;
- уникнення небезпеки ураження електричним струмом при можливій появі напруги на корпусах та інших частинах електрообладнання.

Уникнення випадкового контакту людини з струмоведучими частинами електрообладнання забезпечується ізоляцією струмоведучих частин. Стан ізоляції характеризується її електричною міцністю, діелектричними втратами та електричним опором. Ізоляція запобігає протіканню струмів через неї завдяки великому опору.

Для уникнення небезпеки ураження електричним струмом при появі напруги на корпусах та інших частинах електрообладнання необхідно застосовувати захисне заземлення.

Захисне заземлення - це навмисне електричне з'єднання з землею або з її еквівалентом металевих не струмоведучих частин, котрі можуть опинитись під напругою. Призначення захисного заземлення – усунення небезпеки ураження людей електричним струмом при появі напруги на конструктивних частинах електрообладнання, тобто при замиканні на корпус.

Захисному заземленню підлягають металеві не струмоведучі частини обладнання, котрі через несправність ізоляції можуть опинитися під напругою і до котрих можливий дотик людей [23].

5.2 Розрахунок штучного освітлення для спроектованого цеху з використанням люмінесцентних чи ламп розжарювання

Зварювальникам доводиться виконувати операції, що розрізняються по точності зорової роботи: розмітку, складання, читання креслень, зварювання, контроль зварних з'єднань та ін. Наявність джерел підвищеної яскравості викликає необхідність частоті преадаптації зору: кожного разу при переході від допоміжних операцій, що виконуються без щитка, до зварювання, що виконується обов'язково з щитком.

Створення високих рівнів освітленості місць зварювання (близько десятків тисяч люкс) з тим, щоб усі операції можна було виконувати з щитком, економічно не вигідно і практично складно. Рівні освітлюваності зварювальних робіт встановлені відповідно до діючих нормативних

документів для люмінесцентних ламп 150 лк, а для ламп розжарювання 50 лк з урахуванням наявності у полі зору самосвітних елементів.

Характер технологічних операцій в складально-зварювальних цехах (робота на нефіксованих місцях) визначає доцільність створення системи загального освітлення локалізованого або рівномірного загального з використанням переносних світильників місцевого освітлення. З урахуванням можливості використання газорозрядних джерел світла доцільно підвищити рівні освітленості при електрозварювальних роботах до 500 лк при загальному і місцевому освітленні і до 300 лк при одному загальному освітленні.

Під кранами мають бути підвішені додаткові світильники, які компенсують затемнення робочих місць. При зварюванні усередині місткостей слід використовувати світильники спрямованої дії, які розташовані зовні, або ручні переносні світильники, що мають захисну сітку (трансформатор має бути встановлений зовні, його вторинна обмотка заземлена; не допускається застосування автотрансформаторів).

Світильники, вікна і світлові ліхтарі необхідно очищати в міру забруднення (не рідше за один раз в три місяці).

Забарвлення стін доцільно виконувати спеціальними фарбами, що мають високий коефіцієнт віддзеркалення для видимої частини спектру і низький коефіцієнт - для ультрафіолетових променів [21].

Для роботи по виготовленню зварного з'єднання двотаврової балки при рівномірному розміщенні світильників загального освітлення і горизонтальної поверхні основним є, так званий, метод коефіцієнту використання світлового потоку.

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot Z \cdot K_z}{N \cdot \eta}, \quad (5.1)$$

де Φ – світловий потік, потрібний для забезпечення заданої освітленості, ЛМ;

E_n – нормова освітленість, лк;

S – площа приміщення, м²;

Z (1,15) – коефіцієнт, що враховує відношення середньої освітленості;

K_3 – коефіцієнт запасу, що приймається в залежності від забрудненості повітря в приміщенні ($K_3=1,5$);

N – кількість ламп;

η – коефіцієнт використання світлового потоку; коефіцієнт використання світлового потоку η визначається за світлотехнічними таблицями. Для цього потрібно знайти індекс приміщення i та приблизно оцінити коефіцієнт відбивання поверхонь приміщення: I_c – стелі; I_{cm} – стін; I_p – робочої поверхні.

$$i = \frac{S}{h \cdot (A+B)}, \quad (5.2)$$

де S – площа ділянки цеху, m^2 ;

h – розрахункова висота (відстань від світильника до робочої поверхні), m ;

A і B – довжина і ширина приміщення, m ; ($S=80 m^2$; $h=3,4 m$; $A=4$; $B=20 m$)

$$i = \frac{80}{3,4 \cdot (8 + 10)} = 1,3$$

За таблицею знаходимо відповідні значення I : $I_c=70 \%$; $I_{cm}=50 \%$; $I_p=30 \%$.

$$\Phi = \frac{300 \cdot 80 \cdot 1,15 \cdot 1,5}{0,65} = 63692,3 \text{ лм.}$$

Необхідна кількість ламп:

$$N = \frac{\Phi}{2 \cdot E_d}, \quad (5.3)$$

де E_d – світловий потік лампи;

$$N = \frac{63692,3}{2 \cdot 2105} = 15 \text{ шт.}$$

Приймаємо 16 штук.

Для освітлення автомата використовуємо лампи ЛД-40-4, які мають наступні технічні характеристики:

- світловий потік – $E_d=2105$ ЛМ;
- довжина лампи – $L=1,213$ м;
- потужність – $P=40$ Вт;
- діаметр лампи – $d=0,04$.

Також використовуємо двохламповий світильник без перфорації з решіткою типу ЛДГ, що має такі характеристики:

- довжина – $1,3$ м;
- ширина – $0,27$ м.

Світильники розташовуємо в 2 ряди по вісім штук в кожному ряду. Відстань між рядами світильників розраховуємо за формулою:

$$L = \frac{8-2 \cdot 1,3}{2} = 2,7 \text{ м};$$

$$L = \frac{10-8 \cdot 0,27}{8} = 0,98 \text{ м}.$$

5.3 Оцінка стійкості роботи промислового підприємства

Кожний об'єкт в залежності від особливостей його виробництва і інших характеристик має свою специфіку. Але об'єкти мають багато спільного: виробничий процес здійснюється, як правило, в середині споруд і будівель, самі споруди в більшості випадків виконані з уніфікованих елементів, територія об'єкту насичена інженерними, комунальними і енергетичними лініями, густота забудови по багатьох об'єктах становить 30-60 %. Все це дає підставу вважати, що для всіх виробничих об'єктів, незалежно від профілю виробництва і призначення, характерні загальні фактори, які впливають на підготовку об'єкта до роботи в надзвичайних ситуаціях мирного і воєнного часу. До цих факторів належать: район розміщення об'єкту, внутрішнє планування і забудова території об'єкту, системи енергопостачання,

технологічний процес, виробничий зв'язок об'єкту, системи управління, підготовленість об'єкту до відбудови виробництва та інше [21].

Район розміщення об'єкту вивчається за картою. Проводиться аналіз топографічного розміщення об'єкту: характер забудови території, яка оточує об'єкти; наявність на цій території підприємств, які можуть бути джерелами виникнення вторинних факторів ураження, природні умови навколишньої місцевості; наявність шляхів та інше.

При вивченні споруд і будівель об'єкту дається характеристика споруд основного і допоміжного виробництва; споруд, які не будуть використані у виробництві основної продукції в надзвичайних ситуаціях.

При оцінці внутрішнього планування території об'єкту визначається вплив густоти і типу забудови, можливість виникнення і розповсюдження пожежі, створення завалів входів у сховища і проходів між спорудами.

Вивчення технологічного процесу проводиться з розрахунком специфіки виробництва і змін у виробничому процесі в надзвичайних ситуаціях (можлива зміна технології, часткова зупинка виробництва, переключення на виробництво нової продукції).

Дослідження системи управління об'єктів проводиться на основі вивчення стану пунктів управління і вузлів зв'язку, надійності системи управління виробництвом, надійності зв'язку з позаміською зоною, розстановки сил, забезпечення керівництва виробничою діяльністю об'єкту в усіх підрозділах підприємства.

При аналізі системи матеріально-технічного постачання дається коротка характеристика цієї системи в нормальних умовах і можливих змін в зв'язку з переходом на випуск нової продукції, встановлюється залежність виробництва від постачальників, виявляються найбільш важливі поставки сировини, деталей і комплектуючих виробів, без яких виробництво не може продовжуватись.

Підготовка об'єкту до відбудови виробництва визначається на основі вивчення характеру виробництва, складності його устаткування,

підготовленості персоналу до відбудовних робіт, запасів матеріалів, деталей та устаткування .

5.4 Захисні споруди

Зростання кількості атомних електростанцій, хімічно небезпечних і вибухонебезпечних підприємств та інших об'єктів, які порушують екологію зовнішнього середовища, а також зброї масового ураження вимагають від керівництва підприємства створювати умови для захисту працюючих на підприємстві людей у надзвичайних ситуаціях. В цих умовах терміни проведення захисних заходів можуть бути обмеженими. На першому місці має бути переховування працюючих у захисних спорудах у місці їх перебування - на робочих місцях.

Захисні споруди в залежності від захисних якостей поділяються на сховища, протирадіаційні укриття і найпростіші укриття - щілини [21].

Проведемо розрахунок потреби в захисних спорудах при наступних вихідних даних: підприємство розміщене в районі з помірним кліматом, температура повітря 20 ... 25 °С; розмір території підприємства 2500 × 2500 м; відстань від підприємства до ймовірного центру вибуху $R_{\Gamma} = 4,9 \cdot 10^3$ м; очікувана потужність ядерного боєприпаси $q = 0,5$ Мт; ймовірне максимальне відхилення центру вибуху від точки прицілювання $r_{\text{від}} = 0,9 \cdot 10^3$ м; переважаюча швидкість середнього вітру в районі розміщення підприємства - 50 км/год; число робітників і службовців в найбільшій зміні - 1800 чол.

Розраховуємо необхідну міцність захисних споруд - граничний надлишковий тиск ударної хвилі $\Delta P_{\text{ф. необх.}}$. Для цього знаходимо мінімальну відстань до ймовірного центру вибуху [21]:

$$R_x = R_z - r_{\text{від}} \quad (5.4)$$

де R_z - відстань від об'єкту до ймовірного центру вибуху;

$r_{\text{від}}$ - ймовірне максимальне відхилення центру вибуху від точки прицілювання, м.

$$R_x = 4,9 \cdot 10^3 - 0,9 \cdot 10^3 = 4 \cdot 10^3 \text{ м}$$

Максимальне значення надлишкового тиску, що очікується на підприємстві, при $R_x = 4 \cdot 10^3 \text{ м}$ і $q=0,5 \text{ Мт}$ становить $\Delta P_{\text{ф.необх}} = 35 \text{ кПа}$

Необхідний коефіцієнт послаблення радіації захисними спорудами від радіоактивного зараження визначається із формули:

$$D = D_{\text{відкр}} / K_{\text{посл}} \quad (5.5)$$

де D – допустима доза опромінення для працюючої зміни, Р,

$$D = 50 \text{ Р};$$

$D_{\text{відкр}}$ - доза радіації, яку можуть отримати люди на відкритій місцевості

$$D_{\text{відкр}} = 5 \cdot P_1 (t_H^{-0,2} - t_K^{-0,2}), \quad (5.6)$$

де P_1 - рівень радіації на 1 годину після вибуху, Р/год. при $R_x = 4 \cdot 10^3 \text{ м}$ і $V_{\text{с.в.}} = 5 \cdot 10^3 \text{ м/год}$, рівень радіації дорівнює $P_1 = 17000 \text{ Р/год}$;

t_n - час початку роботи в умовах зараження від моменту вибуху, год.

$$t_n = \frac{R_x}{V_{\text{с.в.}}} + t_{\text{вин}} \quad (5.7)$$

t_n - час випадання радіоактивних опадів, год, $t_{\text{вин}} = 1 \text{ год}$.

$$t_n = \frac{4 \cdot 10^3}{50 \cdot 10^3} + 1 \approx 1,008 \text{ год}$$

t_K - час закінчення роботи в умовах зараження від моменту вибуху, год.

$$t_K = t_n + t_p \quad (5.8)$$

де t_p - тривалість зміни, год, $t_p = 12$ год:

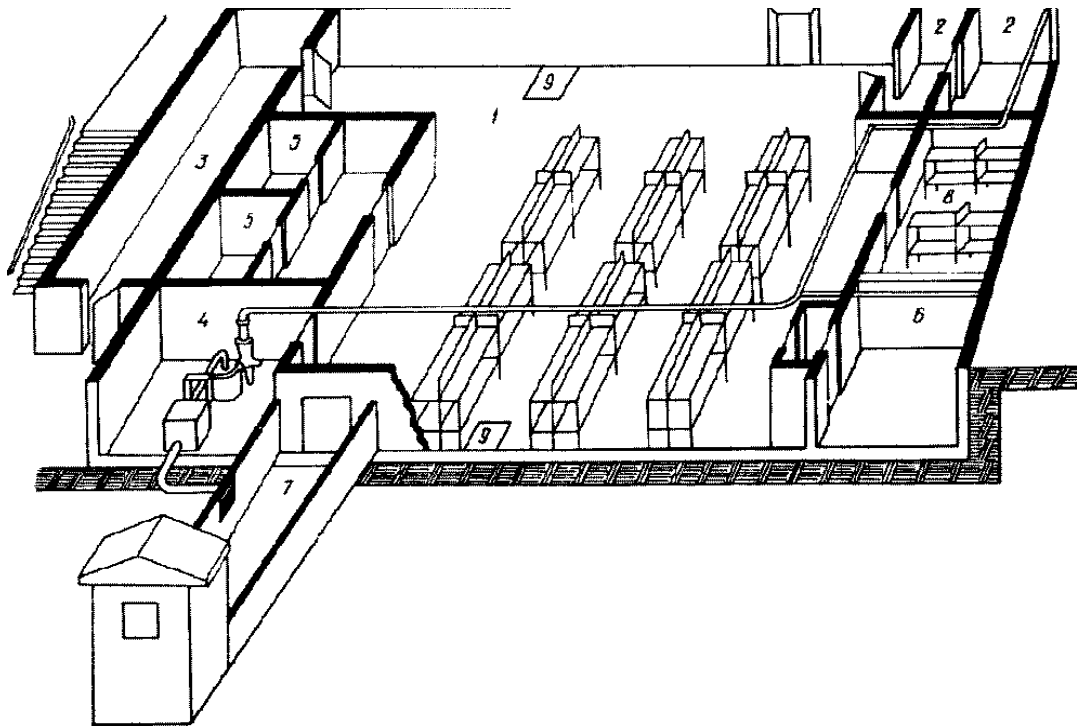
$$t_k = 1 + 12 = 13 \text{ год.}$$

$K_{\text{посл}}$ - коефіцієнт послаблення дози радіації захисною спорудою.

$$K_{\text{посл}} = \frac{5 \cdot 17000 \cdot (1^{-0,2} - 13^{-0,2})}{50} = 683$$

Таким чином, захисні споруди на підприємстві повинні витримувати надлишковий тиск, як мінімум 35 кПа та послаблювати дози радіації від радіоактивного забруднення не менше ніж у 683 рази.

Схема сховища приведена на рисунку 5.1.



1-приміщення для тих, хто укривається; 2-пункт керування; 3-тамбур-шлюз; 4-фільтровентиляційне приміщення; 5-санвузли; 6-дизель-електростанція; 7-аварійний вихід; 8-медпункт; 9-санпости.

Рис. 5.1 - Схема сховища

Тип захисних споруд для конкретного об'єкту повинен задовольняти вимоги забезпечення надійного захисту виробничого персоналу та економії засобів. Вибір типу захисних споруд для об'єкту зводиться до визначення зони можливих руйнувань, в яких може знаходитись об'єкт.

Для забезпечення надійного захисту виробничого персоналу працюючої зміни підприємство повинно:

1) побудувати чотири сховища місткістю на 450 чоловік кожне з захисними властивостями: по ударній хвилі з надлишковим тиском не менше 37 кПа, за радіоактивним випромінюванням з коефіцієнтом послаблення радіації не менше 700;

2) в кожному сховищі обладнати приміщення для людей площею 225 м², один тамбур - шлюз площею 10 м², санітарний пост площею 2 м², та допоміжні приміщення: в сховищах № 1, № 2, № 3 площею 67,5 м² в сховищі № 4 - 72 м²; для людей, що укриваються встановити по 90 двохярусних нар.

Висоту приміщення встановити з врахуванням вимог використання сховищ в мирний час та уніфікації будівельних конструкцій однаково для всіх сховищ - 2,3 м; пункт керування промислового підприємства обладнати в сховищі №4 площею 20 м²; систему повітропостачання сховищ виконати на базі ФВК - 2 по три комплекти на кожне з додатковим встановленням трьох вентиляторів типу ЗРВ-72-2; передбачити використання сховищ в мирний час в господарських цілях: сховища № 1 і № 2 - під склад інструментів; сховище № 3 для побутових приміщень; сховище № 4 - для учбових класів для навчань з цивільної оборони.

ВИСНОВКИ

Виготовлення двотаврових гофрованих балок із застосуванням сучасних методів механізації та автоматизації дозволяє досягти значної економії матеріалів та зменшити трудомісткість процесу.

Використання гофрованих стінок забезпечує зниження ваги конструкцій до 60%, підвищуючи їхню несучу здатність і стійкість до деформацій.

Застосування сучасних зварювальних технологій, зокрема автоматичного зварювання в середовищі захисного газу, сприяє підвищенню якості зварних з'єднань, мінімізуючи ймовірність дефектів.

Автоматизовані системи обробки, включаючи дробоструминну установку та роботизовані комплекси, дозволяють забезпечити високу точність виготовлення та довговічність готових виробів.

Моделювання та аналіз конструкцій у програмних середовищах, таких як SolidWorks, дозволяють оптимізувати геометричні параметри балок, зменшуючи матеріалоємність та підвищуючи ефективність проектних рішень.

Рекомендовано подальший розвиток автоматизації технологічного процесу та впровадження нових матеріалів для ще більшої оптимізації виробництва та зниження витрат.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Лазнюк М. В. Балки з тонкою поперечно гофрованою стінкою при дії статичного навантаження : дис. на здобуття наук. ступ. канд. техн. наук : спец. 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения» / М. В. Лазнюк. – Київ, 2006. – 18 с.
2. Нілов О. О. Балки з гофрованою стінкою // Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. тр. Вып. 7/ Нілов О. О., Лазнюк М. В. — Симферополь: КАПСК, 2002. — С. 64 — 66.
3. <https://bfz.kiev.ua/produksiya/sin-balka/>
4. <https://ssmgroupp.com.ua/virobnictvo/gofro-balka-sin-balka/>
5. https://viton.ua/ua/news/tekhnolohiya_sin_balka_pid_chas_zvedennya_bmz
6. http://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=993
7. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Технологія та устаткування зварювання плавленням» / М.І. Підгурський, Б.П. Татарин, І.Б. Окіпний, В.С. Сенчишин. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017. – 95 с.
8. Кривов, Г.О. Виробництво зварних конструкцій: підручник для студентів вищих навчальних закладів / Кривов, Г.О., Зворикін, К.О. – К.:КВІЦ, 2012.-896 с.
9. Підгурський І.М. Аналіз напружено-деформівного стану сталевих балок з гофрованою стінкою / І.М. Підгурський, Віт.С. Сенчишин, А.М. Кос, Д.І. Дробощький, А.М., Ковбасовський, А.С. Ошурко // Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів «АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ» – Тернопіль, 11-12 грудня 2024 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2023. — С.51.
10. Биковський О.Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій: підручник. – К.: Основа, 2021. – 400 с.

11. Биковский, О.Г. Довідник зварника: довідник / О.Г. Биковський, І.В. Пінковський. - К.: Техніка, 2002. – 336 с.
12. Спеціальні способи зварювання : підручник / І. В. Кривцун, В. В. Квасницький, С. Ю. Максимов, Г. В. Єрмолаєв, за загальною редакцією академіка НАН України, доктора технічних наук, професора Б. Є. Патона. – Миколаїв : НУК, 2017.– 346 с.
13. Костін О.М. Зварювальні матеріали: навч. посібник / О.М. Костін – Миколаїв: НУК, 2004. –225 с.
14. https://kemppi.in.ua/catalog/svarochniy_robot/284.htm
15. <https://jasic.ua/ua/product/mig-350-n271-144>
16. <https://svartech.com.ua/ua>
17. <https://bfz.kiev.ua/vyrobnytstvo/>
18. <https://novotest.ua/ultrazvukovye-tolshinometry/ultrazvukovoi-defektoskop-ud3701.html>
19. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві / 2-ге видання, переробл. та доповн.: Навч. посібник.- К.: Арістей, 2006. - 272 с.
20. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві Навчальний посібник / О.Г. Левченко – К.: Основа, 2010. – 240 с.
21. Стеблюк М.І. Цивільна оборона. Підручник. – К.: Знання, 2006 – 487с.

ДОДАТКИ