

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення технології автоматизованого процесу виготовлення
листових металевих конструкцій з дослідженням експлуатаційних властивостей
зварних з'єднань

Виконав: студент VI курсу, групи МПм-61
спеціальності 131 "Прикладна механіка"

(шифр і назва спеціальності)

	(підпис)	Пришляк С.Я. (прізвище та ініціали)
Керівник	(підпис)	Мариненко С.Ю. (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	(підпис)	Ткаченко І.Г. (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	(підпис)	Окіпний І.Б. (прізвище та ініціали)
Рецензент	(підпис)	Баран Д.Я. (прізвище та ініціали)

Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Ткаченко І.Г., доцент		
та безпека в надзвичайних ситуаціях	Клепчик В.М., ст. викладач		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітична частина	25.11.2024р.	
2	Науково-дослідна частина	30.11.2024р.	
3	Технологічна частина	09.12.2024р.	
4	Конструкторська частина	14.12.2024р.	
5	Охорона праці	18.12.2024р.	
6	Безпека в надзвичайних ситуаціях	20.12.2024р.	
7	Графічна частина	23.12.2024р.	

Студент _____
(підпис)

Пришляк С.Я. _____
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Мариненко С.Ю. _____
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра на тему: «Розроблення технології автоматизованого процесу виготовлення листових металевих конструкцій з дослідженням експлуатаційних властивостей зварних з'єднань» складається із розрахунково-пояснювальної записки об'ємом 84 аркушів формату А4 та графічної частини у вигляді слайдів. Розрахунково-пояснювальна записка складається із наступних частин: аналітичної; технологічної; конструкторської; науково-дослідницької; охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях; висновків.

Для висвітлення питань, які розглядаються в даному дипломному проекті, розрахунково-пояснювальна записка містить 52 рисунки, 17 таблиць та додатки. При написанні розрахунково-пояснювальної записки використано 17 літературних джерел.

В даному дипломному проекті розроблено технологію та вибрано зварювальне устаткування для зварювання харчової ємності з нержавіючої сталі для харчової промисловості або медичної галузі народного господарства.

Досліджено вплив та залежності властивостей зварного шва від товщини металу та сили зварювального струму.

Ключові слова: НАПІВАВТОМАТИЧНЕ ЗВАРЮВАННЯ, АВТОМАТИЧНЕ ЗВАРЮВАННЯ, ЗАХИСНИЙ ГАЗ, ЗВАРЮВАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ, ЗВАРЮВАЛЬНЕ УСТАТКУВАННЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Характеристика матеріалу виробу.....	9
1.2 Характеристика можливих способів зварювання.....	12
1.3 Вибір зварювальних та допоміжних матеріалів.....	17
1.4 Аналіз існуючого процесу виготовлення.....	18
1.5 Обґрунтування вибору методу контролю отриманих з'єднань.....	21
2. РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	23
2.1 Заготовки та методи їх одержання.....	23
2.2 Технічне обґрунтування вибраного способу зварювання.....	24
2.3 Вибір та розрахунок параметрів режиму зварювання.....	25
2.4 Вибір і обґрунтування зварювального устаткування.....	30
3. РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	37
3.1 Опис загальних та обґрунтування вибору персоніфікованих пристосувань.....	37
3.2 Вибір типу упорів.....	38
3.3 Вибір типу затискних елементів.....	38
3.4 Опис пристосувань запропонованих для виготовлення ємності.....	43
3.5 Перевірочний розрахунок міцності конструкції	45
4. РОЗДІЛ 4. НАКОВО ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	49
4.1 Загальні вимоги до монтажно-зварювальних пристроїв.....	49
4.2 Чисельні методи розрахунку зварювальних деформацій і напружень.....	51
4.3 Розрахунок залишкових деформацій при аргонодуговому зварюванні плоских зразків на підкладці.....	53
4.3.1 Верифікація чисельної термдеформаційної моделі розподілу залишкової деформації при аргонодуговому зварюванні плоских зразків.....	56
4.3.2 Результати чисельного моделювання впливу термдеформаційного циклу аргонодугового зварювання плоских зразків на розподіл залишкових деформацій.....	60

5. РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	73
5.1 Заходи, що забезпечують безпечні умови праці при зварюванні в захисних газах.....	73
5.2 Загально-обмінна штучна вентиляція при зварюванні в середовищі захисних газів.....	75
5.3 Протипожежні заходи на виробничій ділянці.....	76
5.4 Стійкість роботи підприємства в надзвичайних ситуаціях.....	78
ВИСНОВКИ.....	81
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	82

ВСТУП

Актуальність роботи. Вплив зварювання на суспільний розвиток величезний, оскільки він впливає на освіту, зайнятість та технологічне зростання суспільства.

По суті зварювання залишається провідним процесом у виготовленні конструкцій та виробів практично в усіх галузях промисловості та будівництва. Зростання промислового виробництва потребує збільшення обсягів виробництва зварювальної техніки та зварювальних матеріалів, а також розроблення нових технологічних процесів зварювання.

Листові конструкції становлять більше 30% від всього обсягу зварюваних металевих конструкцій. Тому актуальним є вдосконалення існуючих та розроблення нових технологічних процесів, з використанням сучасних та перспективних матеріалів та технологій.

Мета роботи – розроблення автоматизованого процесу виготовлення листових конструкцій на прикладі металевих дверей з листової нержавіючої сталі.

Кваліфікаційна робота має на меті вирішення таких завдань:

- аналіз існуючих способів зварювання листових конструкцій;
- аналіз основних способів складання заготовок;
- вдосконалення технології виготовлення металевих листових конструкцій зварюванням;
- розгляд питань безпеки життєдіяльності та охорони праці.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення листових конструкцій та дослідження зварних з'єднань.

Предмет дослідження – оцінка впливу умов кріплення на залишкові деформації зварної конструкції за розробленою математичною моделлю зварювання.

Отримані результати. Запропоновано удосконалення технологічного процесу виготовлення листової металевої конструкції типу двері з нержавіючої сталі, та досліджено залишкову деформацію шляхом математичного моделювання.

Практичне значення. Результати роботи можна застосовувати при розрахунку параметрів та режимів електродугового роботизованого зварювання листових конструкцій.

Апробація результатів кваліфікаційної роботи магістра. Окремі результати роботи доповідались та отримали позитивну оцінку на XIII Міжн. науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій». м. Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя, 2024 р.

Публікації. Часткові результати досліджень за темою магістерської роботи опубліковано в 1 праці: збірник тез XIII Міжн. науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій». м. Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя, 2024 р.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота магістра складається із вступу, 5 розділів, загальних висновків щодо роботи, бібліографічного списку зі 17 найменувань, 0 додатків. Робота викладена на 0 сторінках машинописного тексту, що включає 0 рисунків та 0 таблиць.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

Опис конструкції та призначення виробу «Резервуар»

Виріб «Резервуар», застосовується для зберігання запасу питної води, необхідного для вжитку у випадку аварійних ситуацій зі світлом чи водою в місцях громадського перебування. При експлуатації виріб зазнає впливу вологи та атмосфери. Виріб виготовляється із сталі 12Х18Н10Т з товщиною стінки 3 мм.



Рисунок 1.1 - Схематичне зображення виробу

1.1 Характеристика матеріалу виробу

Нержавіюча сталь 12Х18Н10Т є довговічним та екологічно безпечним матеріалом. Сертифікований за українськими та зарубіжними стандартами металопрокат завжди знаходить свого покупця на ринку. Продукція як

вітчизняних, так і імпорتنих виробників представлена різними видами сплавів та обробки.

Хімічний склад сталі регламентується ГОСТом 5632-72. Основним елементом металу 12X18H10T є залізо (Fe). Крім того, до складу хромнікелевої сталі входять хімічні елементи у наступному відсотковому співвідношенні: хром (Cr) від 17 до 19%, нікель (Ni) від 9 до 11%, титан (Ti) близько 0,8%, кремній (Si) не більше 0,8%, сірка (S) менше 0,02%, марганець (Mn) менше 2%, мідь (Cu) до 0,03%, фосфор (P) 0,035% та вуглець (C) менше 0,12%. Цю марку стали виплавляють у дугових електропечах.

Розглянемо ретельніше вплив легуючих компонентів на характеристики нержавіючої сталі. Її основними легуючими елементами є Cr (хром) та Ni (нікель).

Високий вміст хрому марці 12X18H10T (від 17 до 19%) забезпечує здатність металу до пасивації та зумовлює сильні антикорозійні характеристики сталі.

Додавання нікелю(Від 9 до 11%) переводить сталь до класу аустенітів. Ця властивість має виняткове значення, що дозволяє поєднувати технологічність нержавіючої сталі з розширеним комплексом експлуатаційних характеристик. Такі сталі добре прокочуються в холодному і гарячому стані, мають високу, порівняно з феритними сталями, корозійну стійкість в агресивних середовищах, у тому числі сірчану кислоту.

Вміст нікелю і хрому в сплаві специфічно впливає на стабільність аустеніту при охолодженні температури обробки (1050-1100 оС) на твердий розчин. Для того, щоб сталь мала повністю аустенітну структуру при температурі, що перевищує 900 оС, достатньо присутності 0,1% вуглецю (C). Це обумовлено сильним аустеніто-утворювальним впливом даного хімічного елемента.

Крім впливу основних легуючих елементів слід враховувати наявність у сплаві титану, алюмінію та кремнію, які додають йому феритні властивості.

Додавання до складу сильного карбідоутворюючого елемента - титану - (Ti) дозволяє усунути схильність сталі до міжкристалітної корозії.

Кремній(Si), вміст якого в 12X18H10T не більше 0,8%, підвищує щільність сталі та дегазує його. Додавання даного елемента збільшує міцність матеріалу та межу плинності, проте трохи знижує пластичність, що ускладнює холодну

прокатку.

Введенням марганцю(Mn) викликається уповільнення швидкості зростання зерна, що сприяє отриманню дрібнозернистої сталі.

Граничний вміст фосфору(P) у сталі марки 12X18H10T не може перевищувати 0,035%. Цей показник має критичне значення, оскільки даний вид сталі використовують у криогенній техніці, а фосфор негативно впливає механічні властивості сплаву. Виникає сильна первинна ліквіація при кристалізації, за низьких температур знижуються пластичні характеристики металу.

Основними перевагами стали марки 12X18H10T є висока ударна в'язкість і пластичність.

Сфери застосування хромонікелевої нержавіючої сталі

Хром-нікелева нержавіюча сталь 12X18H10T займає лідируючі позиції на ринку сучасного металопродукту. Завдяки своїм унікальним якісним характеристикам сталь даної марки може використовуватись у різних сферах виробництва та промисловості. Матеріал отримав широке застосування в:

харчової промисловості – алкогольної, м'ясної, молочної;

- нафтової промисловості;
- паливно-енергетичному секторі;
- хімічна промисловість;
- машинобудування.

У хімічній промисловості марку сталі 12X18H10T використовують для виготовлення ємностей, призначених для роботи під високим тиском, а також у пристроях для вироблення рідкого кисню. Корозійностійка сталь застосовується для зварної апаратури і конструкцій, експлуатація яких передбачає контакт з окислювальними середовищами, органічними розчинниками, неорганічними кислотами помірної концентрації. З цього матеріалу виробляють труби, що транспортують агресивні розчини рідин, таких як фосфорна, азотна, оцтова кислота, а також їх основ та солей.

1.2 Характеристика можливих способів зварювання

Оскільки існує безліч способів зварювання плавленням то є доцільним звернути увагу на вимоги до виробу. В нашому випадку виробом є листова конструкція з товщиною металу 3 мм, виконана стиковими швами. Виходячи з цього, можуть бути використані наступні способи зварювання:

- 1) ручне дугове зварювання;
- 2) напівавтоматичне зварювання в захисному середовищі;
- 3) автоматичне зварювання.

Для раціонального вибору проведемо порівняння можливих способів.

Ручне дугове зварювання (Схема на рис. 1.2) це процес де всі маніпуляції та рухи відбуваються вручну, тобто безпосередньо зварником.

Основними параметрами режиму ручного дугового зварювання є діаметр електроду та сила зварювального струму.

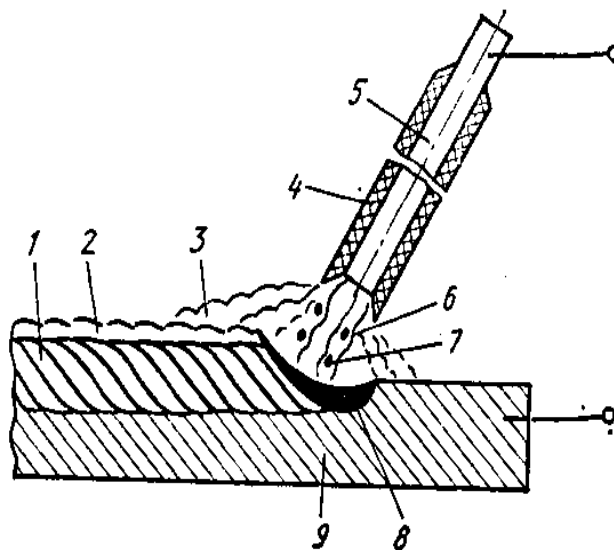


Рисунок 1.2 – Схема РДЗ

- 1- шов; 2- застиглий шлак; 3- зона газового захисту; 4- покриття електродне; 5- пруток сталевий; 6- дуга електрична; 7- розплавлений метал; 8- зварна ванна; 9- основний метал

Техніка виконання зварних швів залежить від виду зварного з'єднання та його просторового положення. За положеннями у просторі шви поділяють на нижні (а), вертикальні (б), горизонтальні (в) і стельові (г) (рис. 2).

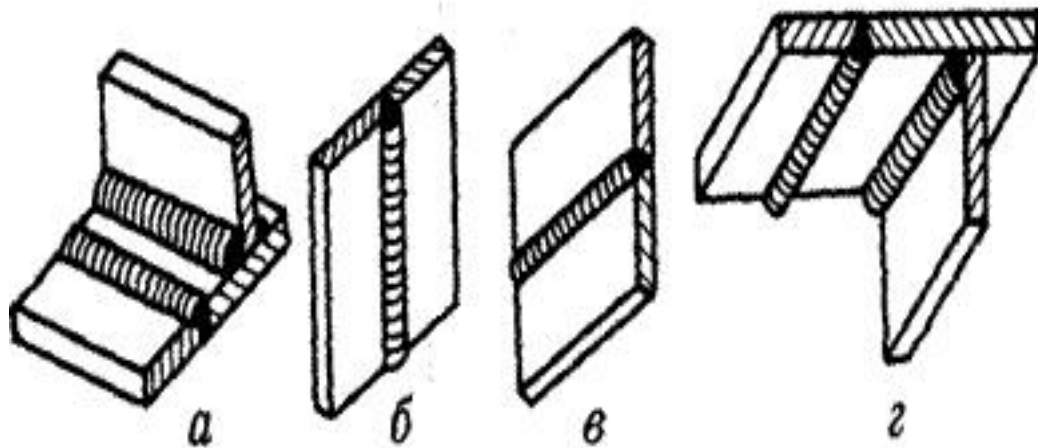


Рисунок 1.3 – Просторові положення швів

Основними перевагами ручного зварювання можна вважати:

- хороші механічні властивості зварних швів;
- універсальність та доступність;
- можливість виконання з'єднань у важкодоступних місцях;
- доступна економічність.

Недоліками є:

- залежність якості шва від кваліфікації зварника;
- відносно невисока продуктивність процесу зварювання;
- підвищені вимоги до електродів.

Напів автоматичне зварювання в середовищі газів (схема на рис. 3). Суть способу зварювання в захисних газах полягає в тому, що для захисту розплавленого металу шва від шкідливого впливу кисню чи азоту повітря у зону дуги, між зварюваним виробом і електродом, подається струмінь захисного газу, для витискання повітря із зони зварювання.

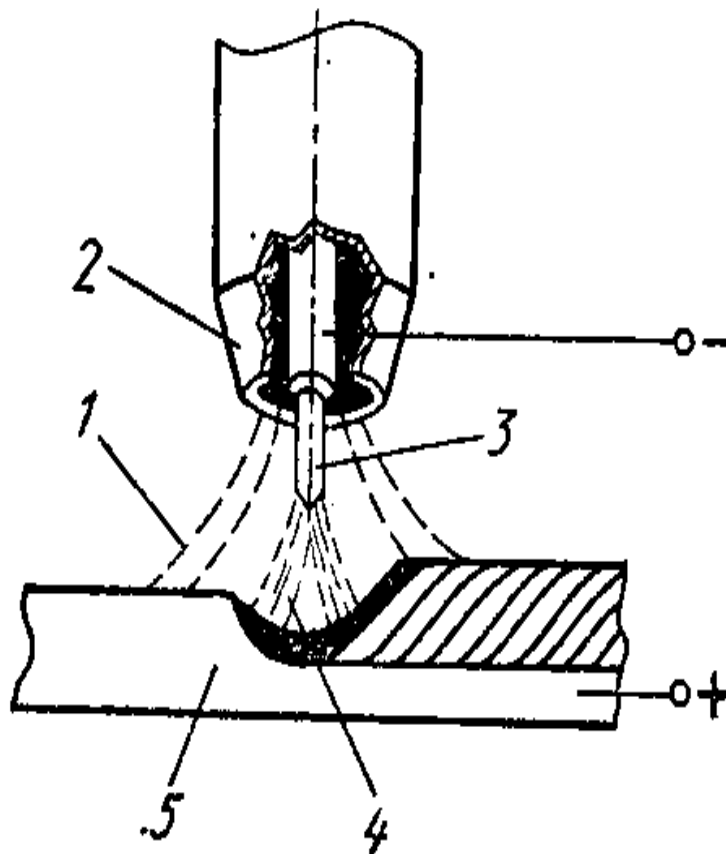


Рисунок 1.4 – Схема зварювання в захисному середовищі

1- газу; 2- газове сопло; 3- електродний дріт; 4- дуга зварювальна; 5-метал

В цьому випадку подача дроту здійснюється механічно а рух пальника – в ручну.

Напівавтоматичне зварюванням, також як і РДЗ, можна застосовувати в усіх просторових положеннях. Основні параметри режиму зварювання є діаметр, виліт та швидкість подачі електродного дроту, а також, сила з струму, напруга дуги та витрати захисного газу.

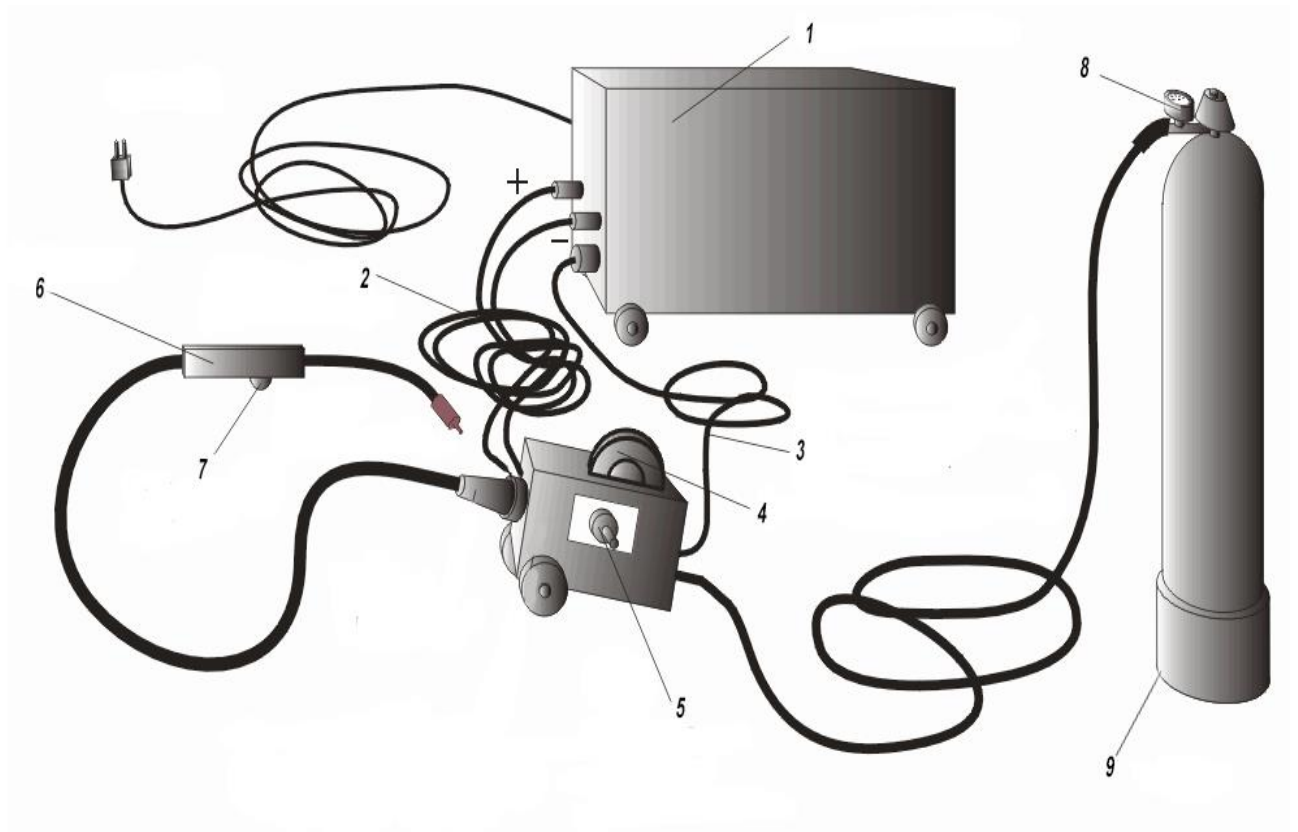


Рисунок 1.5 – Основне обладнання для напівавтоматичного зварювання
 1- джерело; 2- рукави; 3- живлення кнопки «Пуск»; 4- касета з дротом; 5- регулятор швидкості; 6- пальник; 7- кнопка; 8- манометр; 9- балон

До основних переваг можна віднести:

- висока продуктивність, вища за РДЗ;
- можливість зварювання довільно просторових швів;
- високоефективний захист розплавленого металу;
- можливість зварювання металів значної товщини без застосування розробки кромки;
- висока концентрація нагрівання місця зварювання виробу, для зменшення ЗТВ;
- можливість механізації чи автоматизації процесу.

До недоліків треба віднести:

- необхідність додаткового обладнання;
- залежність якості зварного шва від вибраних параметрів режиму;
- підвищені вимоги до обладнання робочого місця;
- чутливість зварного шва до якості газового захисту;
- вища собівартість обладнання.

Автоматичне зварювання із захистом (газ чи флюс).

При автоматичному зварюванні всі операції основного процесу механізовані.

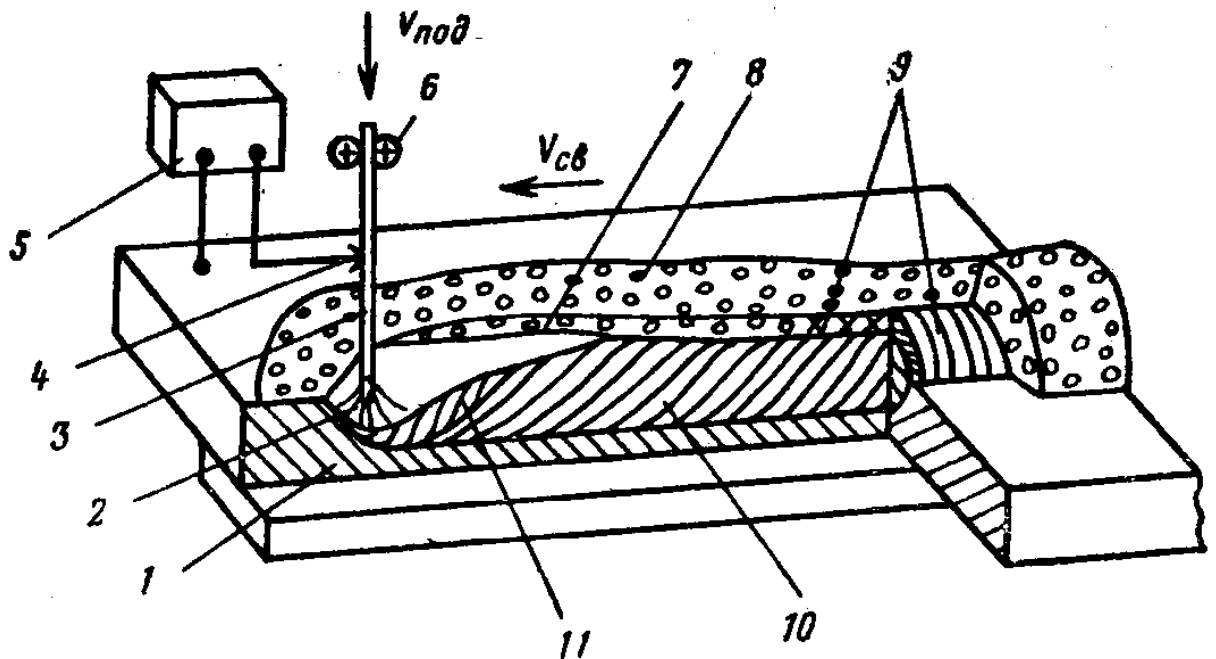


Рисунок 1.6 – Зварювання під захисним шаром флюсу

$V_{под}$, $V_{зв}$ - швидкості ; 1 – метал шва; 2 - дуга; 3 – електрод; 4 – подача живлення; 5 - джерело живлення; 6 – ролик; 7 – розплавлений шлак; 8 - флюс; 9 – шлакова кірочка; 10 - метал зз; 11 - зварювальна ванна

Автоматичне зварювання під флюсом володіє наступними перевагами:

- в 10-ки разів продуктивніше;
- висока однорідність шва та якість наплавленого металу;
- механізація процесу;

До недоліків слід зарахувати:

- підвищені вимоги до точності підготовки чи складання виробів під зварювання;
- не можливість зварювати шви складної конфігурації та невеликої довжини;
- небезпечність випарів флюсу;
- необхідність спеціального обладнання.

Беручи до уваги що товщина виробу 3 мм, доцільним може бути використання як напівавтоматичного так і автоматичного зварювання.

1.3 Вибір зварювальних та допоміжних матеріалів

Важливим є правильний вибір всіх зварювальних матеріалів.

При виборі зварювальних матеріалів слід враховувати:

- можливості отримання технологічних щільних та якісних швів;
- можливості отримання високотехнологічного металу шва з високою технологічною міцністю, і не схильного до утворення дефектів;
- можливості отримання з'єднання, з необхідною міцністю та експлуатаційною надійністю;
- економічну ефективність.

Вибір дроту:

- 1) вибір за призначенням, в залежності від факторів: навколишнього середовища;
- 2) вибір виду легування для створення максимально ефективної захисної атмосфери;
- 3) вибір товщини зварювального дроту в залежності від способу зварювання та просторового положення з'єднання.

Для автоматичного зварювання сталі 12X18H10T обираємо зварювальний дріт аналогічної марки, для забезпечення максимальної тотожності хімічного складу та властивостей зварного з'єднання та основного металу.

Зварювальні флюси вибирають за наступними критеріями:

- 1) в залежності від виду та класу матеріалів (сталь, чавун чи кольорові метали);
- 2) за хімічним складом шлаку (без- чи кисневий, висо- чи низькокремнестий, марганцевий чи без-); вимог до експлуатаційних властивостей.
- 3) за характером зміни в'язкості шлакової маси, в залежності від положення зварного з'єднання, потужності дуги та величини зварювального струму;

4) в залежності від типу шва (стиковий, кутовий) з його зовнішньою формою (випуклий, плоский, ввігнутий);

Флюси мають забезпечити стійке горіння зв дуги, заданий хімічний склад та механічні властивості наплавленого металу, задовільне формування шва та легке видалення шлакової кірки з наплавленого металу.

Захисні газы рекомендують як:

- 1) вибір хімічної активності газу (активний, інертний чи їх суміш) та його чистоти;
- 2) вибір способу підведення газу

1.4 Аналіз існуючого процесу виготовлення

Для зварювання стикових швів, використовується напівавтомат Каховського заводу електро-зварювального устаткування – КП015.



Рисунок 1.7 - Загальний вигляд напівавтомату КП 015

Напівавтомати КП серії здатні забезпечити:

- гнучке регулювання режимів;
- захист електродвигуна;
- плавність швидкості подачі;

- автоматичне керування основними комунікаційними процесами;
- інерційна робота електродвигуна.

Таблиця 1.1- Технічна характеристика напів-автомату КП 015.

Номінальна напруга, В	380
Частота мережі, Гц	50
Номінальний зварювальний струм, А При ПВ=60% і циклі зварювання 5 хв.	315
Межі регулювання зварювального струму, А	50-315
Регулювання напруги на дузі	Плавне
Межі регулювання напруги на дузі, В	18-38
Діаметр електродного дроту, мм	
- суцільний	0.8-1.6
- порошковий	1.2-1.4
Регулювання швидкості подачі	плавне
Межі регулювання швидкості подачі електродного дроту, м/год	100-1000
Маса, кг	
- механізм подачі дроту	9.5
- електродного дроту	5
Габаритні розміри механізму подачі дроту, мм	495x160x290

Джерелом живлення для комплектування напівавтомату КП 015 слугує
КИГ-303



Рисунок 1.8 – Джерело живлення КИГ-303

Випрямляч зварювальний діодний КИГ-303 зі ступінчастим чітким регулюванням зварювального струму, з жорсткими ВАХ призначений для механізованого зварювання в комплекті зі зварювальними напівавтоматами для зварювання в середовищі захисних газів. Технічна характеристика представлена в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Технічна характеристика КИГ-303.

Номінальна напруга, В	380
Частота мережі, Гц	50
Номінальний зварювальний струм, А	
- ПВ=100%	240
- ПВ=80%	170
- ПВ=60% (цикл звар. 10хв.)	315
Межі регулювання звар. струму, А	60-315
Межі регулювання робочої напруги, В	20 ступенів, 12-30
Первинна потужність, кВА	16
Охолодження	Примусове повітряне
Маса, кг	150
Габаритні розміри, мм	970x510x890

1.5 Обґрунтування вибору методу контролю отриманих з'єднань

На перших етапах зварювання – це може бути візуальний огляд. Але після завершення процесів зварювання, найбільш оптимальним видається ультразвуковий метод контролю. Апаратура для такого виду контролю – портативна і надійна, а також має високі техніко-економічні показники. Ультразвукові хвилі мають здатність спотворюватись від дефектної структури, як то непровари, шлакові включення та інші дефекти, які трапляються на їхньому шляху. Коливання, котрі відбиваються поверхнею металу, транслюються на спеціальні електронні пристрої і транслюються світловими сигналами на екран дефектоскопа. В місцях виявлених дефектів з'являється пік сигналу.

Ультразвуковий контроль умовно поділяється на ехо-імпульсний, тінювий та дзеркально-тінювий. Найбільш раціональний спосіб – ехо-іспульсний. Він має високу чутливість до всіх видів внутрішніх дефектів, високу точність визначення координат такого дефекту.

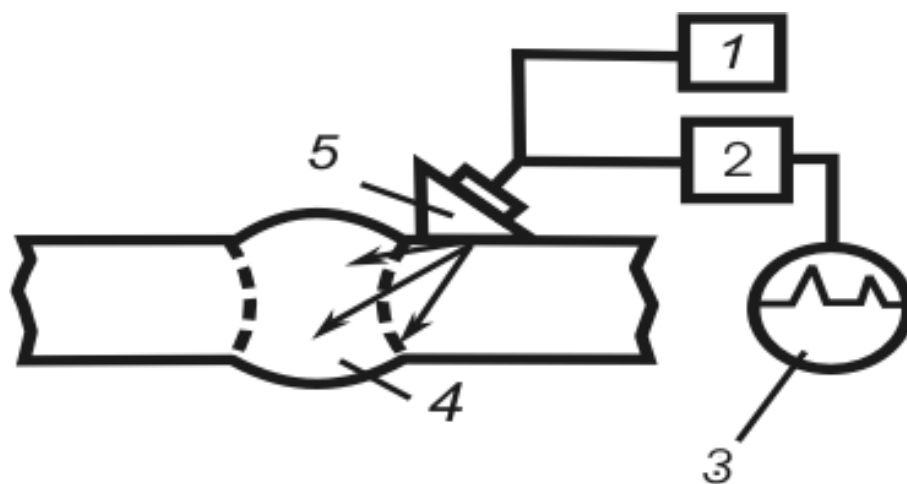


Рисунок 1.9 – Схема ультразвукового ехо-імпульсного методу
1- генератор; 2- підсилювач; 3- індикатор; 4- зварний шов; 5-
перетворювач.

Для цього методу контролю обов'язково обираємо портативний ультразвуковий дефектоскоп NOVOTEST УД-3701, що призначений для виявлення дефектів різного типу та координат їх залягання, вимірювання товщини, вимірювання як швидкості поширення так і загасання ультразвукових коливань в матеріалі.

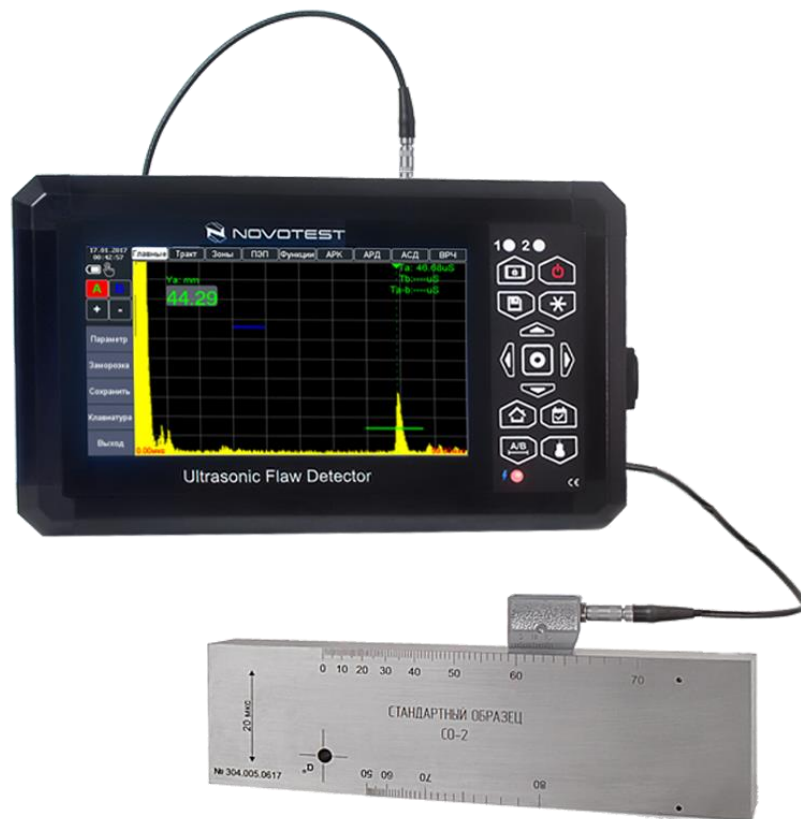


Рисунок 1.10 – Зовнішній вигляд дефектоскопа NOVOTEST УД-3701

Підсумовуючи розділ можемо зробити висновок що даний виріб на виробництві мають можливість виготовляти мінімум двома способами, напівавтоматичним та автоматичним методами зварювання в захисних середовищах.

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Заготовки та методи їх одержання

Будь який технологічний процес виготовлення виробу включає такі операції з підготовки заготовок: правлення, розмічування, різання, підготовлення кромek під зварювання.

Для правлення металевих напівфабрикатів застосовуються листопрямильні машини

Розмічування може бути за індивідуальною розміткою або шаблонне.

Різання листових деталей товщиною до 30 мм можна проводити на гільйотинних ножицях типу HATS3212 (рис. 2.1). Для поперечного різання різних фасонних профілів застосовують горизонтальну порталну автоматичну машину MONOTEC марки Type-1530 (рис. 2.2).



Рис. 2.1 – Загальний вигляд гільйотинних ножиць типу HATS3212



Рис. 2.2 – Загальний вигляд портальної автоматичної машини MONOTEC Type-1530

Очищення поверхні металу виконується наступними операціями: видалення фарби, мастил та інших можливих забруднень; кінцеве обезжирення; видалення окисних плівок; пасивування поверхні; промивання; сушіння

2.2 Технічне обґрунтування вибраного способу зварювання

Для виготовлення нашої конструкції можна вибрати наступні способи зварювання:

- а) РДЗ;
- б) зварювання під захисним флюсом;
- в) газове зварювання;
- г) зварювання в захисних газах

Перевагою РДЗ є простота і виробнича економність процесу. Але до недоліків відносять низьку продуктивність процесу та підвищений ризик виникнення дефектів зварних з'єднань.

До переваг зварювання під флюсом відносять: підвищення продуктивності праці в кілька разів а до недоліків - ускладнений контроль через відсутність можливості огляду місця зварювання безпосередньо під час накладання шва.

Одним із можливих видів зварювання в нашому випадку можна назвати також зварювання в ЗГ (захисних газах), яке може проводитись з різном ступенем автоматизації та механізації.

Враховуючи степінь відповідальності описуваної конструкції і проаналізувавши переваги та недоліки усіх способів зварювання оболонкових ємностей з нержавіючих сталей, вибираємо автоматичне зварювання в ЗГ.

Оскільки основним матеріалом виробу є легована сталь 12Х18Н10Т то в якості зварювального дроту рекомендовано використовувати дріт марки Св06Х19Н9Т, хімічний склад якого приведений в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад зварювального дроту Св06Х19Н9Т за ГОСТ 2246 – 70, %

C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P
					небільше	
$\leq 0,08$	0,4 - 1	1 - 2	18 - 20	8 - 10	0,015	0,030

2.3 Вибір та розрахунок параметрів режиму зварювання

Схематичне зображення стикового шва представлено на рисунку 2.3.

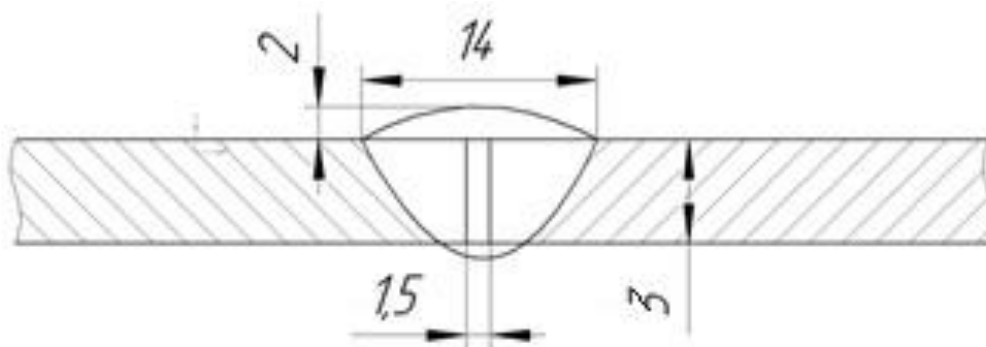


Рисунок 2.3 – схематичне зображення стикового шва

Основними параметрами режимів зварювання в суміші $\text{CO}_2 + \text{O}_2$, які можуть суттєво впливати на на якість:

– d – діаметр і марка електродного дроту, $d_{\text{ел}}$;

—є величина постійного зварювального струму, $I_{зв}$;

—є напруга на дузі, U_d ;

— є швидкість подачі електродного дроту, $V_{п.ел}$;

—є швидкість зварювання, $V_{зв}$;

— є виліт електрода, $l_{ел}$;

— є витрати захисного газу, Q_g .

Діаметр електродного дроту вибираємо в залежності від товщини зварюваної деталі.

Таблиця 2.2 – Залежність діаметру електродного дроту від товщини зварюваних деталей

Товщина металу (S), мм	0,8-2,0	3,0-6,0	8,0-14,0	16,0-20,0	22,0-40,0
Діаметр дроту ($d_{ел}$), мм	0,8-1,2	1,2-1,6	1,2-2,0	1,4-3,0	1,6-4,0

Але при автоматичному зварюванні в газовій суміші діаметр електродного дроту повинен бути не менше 2мм.

Отже, враховуючи рекомендації по вибору діаметру дроту в залежності від товщини деталей і враховуючи спосіб зварювання приймаємо діаметр дроту 2 мм.

Величину струму зварювального визначаємо як:

$$I_{зв.} = \frac{h}{R_d} \cdot 100, \quad (2.1)$$

де h – розрахункова глибина проплавл., мм (3 мм);

R_d – коефіцієнт, (який залежить від діаметру електрода і береться з таблиці 2.3).

Таблиця 2.3 – Залежність діаметру електродного дроту від товщини зварюваних деталей

$d_{ел}$, мм	1,2	1,4	1,6	2,0	3,0	4,0	5,0
R_d , мм/100А	2,10	2	1,75	1,55	1,45	1,35	1,2

Користуючись таблицею приймаємо $R_a = 1,55$.

Тоді струм $I_{зв} = 3/1.55 \cdot 100 = 193,5$

Приймаємо $I_{зв} = 200A$.

По розрахунковому значенню струму зварювального уточнюємо значення діаметра дроту як:

$$d_e = 1,13 \sqrt{\frac{I_{зв}}{j}}, \quad (2.2)$$

де j – рекомендована струму густина, A/mm^2 , береться з таблиці 2.4

Таблиця 2.4 – Залежність густини струму (j) від діаметру електроду ($d_{ел}$) при зварюванні стикових швів без розроблення кромки

Діаметр електроду ($d_{ел}$), мм	1,2	1,4	1,6	2	3	4	5
Густина струму (j), A/mm^2	100 - 300	90 - 250	80 - 230	65 - 200	45 - 90	35 - 60	30 - 50

Вибираємо $j = 65 A/mm^2$

$$d_e = 1,13 \sqrt{\frac{200}{65}} = 1,98$$

Приймаємо $d_e = 2mm$.

Виліт зварювального електроду залежить від діаметру електродного дроту. При $d_{ел} = 2mm$, виліт зварювального електроду становитиме: $l_{ел} = 23...25mm$.

Напругу на дузі визначаємо за даними табличними і залежно від струму зварювання та D електродного дроту.

Співвідношення величини струму та напруги дуги в залежності від діаметра електродного зварювального дроту представлено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Залежність сили струму і напруги на дузі від діаметра електроду

Діаметр електроду, мм	0,5	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	2,0	2,5
Зварювальний струм, А	30-100	50-150	60-180	90-400	100-500	120-550	200-600	250-700
Напруга на дузі, В	18-20	18-22	18-24	18-42	18-45	19-46	23-49	24-42

Беремо, $U_d = 30\text{В}$.

– визначення шв. подачі дроту.

Швидкість подачі електродного дроту визначаємо за формулою:

$$V_{\text{п.ел}} = \frac{4\alpha_H \cdot I_{\text{зв}}}{\pi d^2 \gamma}, \quad (2.4)$$

де α_H – коефіцієнт наплавлення, беремо $\alpha_H = 13,5 \text{ Г/А} \cdot \text{год}$

γ – густина металу, $\gamma = 7,8 \text{ Г/см}^3$

d – діаметр електроду

$$V_{\text{п.ел}} = \frac{4 \cdot 13,5 \cdot 200}{3,14 \cdot 4 \cdot 7,8} = 110,23 \text{ м/год}.$$

Приймаємо $V_{\text{п.ел}} = 110 \text{ м/год}.$

– визначення зварювання швидкості.

Швидкість зварювання визначаємо як:

$$V_{\text{зв}} = \frac{A}{I_{\text{зв}}}, \quad (2.5)$$

де A – коефіцієнт, який залежить від діаметру електродного дроту та береться з таблиці, $A = 8 \cdot 10^3$

$$V_{\text{зв}} = 8000/200 = 40 \text{ м/год}.$$

Прийmemo $V_{зв} = 40 \text{ м/год}$.

– визначення витрат захисного газу.

Витрати захисного газу залежать від діаметру електродного дроту і становлять: $B = 20 \text{ л/хв}$.

Вуглекислий газ – 16 л/хв

Кисень – 4 л/хв .

Розраховані параметри режиму зварювання для автоматичного зварювання в середовищі суміші вуглекислого газу та кисню прямо шовної труби заносимо в таблицю.

Таблиця 2.6 – Розраховані параметри режиму зварювання

Зварювальний Струм,	А	200
Напруга дуги,	В	30
Діаметр дроту,	мм	2
Марка дроту		Св06Х19Н9Е
Швидкість подачі дроту,	м/год	110
Швидкість зварювання,	м/год	40
Товщина заготовки,	мм	3
Довжина шва,	мм	1250
Захисний газ		
Витрати CO_2 ,	л/хв	14 – 16
Витрати O_2 ,	л/хв	3 – 4

2.4 Вибір і обґрунтування зварювального устаткування

Виходячи з вибраного способу зварювання та уточнених параметрів режиму зварювання вибираємо обладнання із врахуванням .

- роду струму;
- зовнішньої характеристики джерела живлення;
- номінальної потужності джерела;

Вибір зварювального обладнання для нашого автоматичного зварювання в середовищі вуглекислого газу і кисню, в даному випадку джерела живлення і напівавтомата, залежить від головних параметрів режимів зварювання які ми розраховали в попередньому пункті:

- а) величини струму зварювального;
- б) діаметра дроту електродного;
- в) номінальної напруги робочої;
- г) швидкості подачі дроту електродного.

В базовому варіанті виготовлення конструкції відбувалось механізованим способом з допомогою напівавтомату типу ПДГ-315 “Буран” (рисунок 3.4).



Рисунок 2.4 - Загальний вигляд напівавтомат типу ПДГ-315 “Буран”

Таблиця 2.7 - Технічна характеристика напівавтомату ПДГ-315 ”Буран”

Параметр	Значення
Номінальний зварювальний струм, А	315
Діаметр електродного дроту, мм	0.8-1.4
Швидкість подачі електродного дроту, м/хв	0.2-22
Габаритні розміри, мм	830×350
Маса, кг, не більше	12
Джерело струму	ВДГ-303-3

В комплекті з описаним напівавтоматом працює випрямляч для дугового зварювання типу ВДГ-303-3(рисунок 2.5), а його характеристика в таблиці 2.8.



Рисунок 2.5 - Загальний вигляд випрямляча типу ВДГ-303-3

Таблиця 2.8 - Технічна характеристика випрямляча ВДГ-303-3

Назва параметра	Значення
Напруга мережі живлення, В	3х380
Частота мережі живлення, Гц	50
Номінальний зварювальний струм, А (ПВ,%)	315 (60%)
Межі регулювання зварювального струму, А	40-325
Кількість ступенів регулювання зварювальної напруги	3
Межі регулювання зварювальної напруги, В	16-40
Напруга холостого ходу, В, не більше	60
Потужність що споживається з мережі, кВА, не більше	19
Маса, кг, не більше	165
Габаритні розміри, мм, не більше	605х700х620

Враховуючи параметри режиму зварювання вибираємо пальник, який розрахований на максимальний струм до 315 А типу RF 36 LC(рисунок 2.6). його технічна характеристика представлена в таблиці 2.9



Рисунок 2.6 - Загальний вигляд пальника типу.

Таблиця 2.9 - Технічна характеристика пальника ГДПГ-301-8

Номінальний зварювальний струм, А		315
Охолодження		повітряне
Діаметр електродного дроту, мм		0.8-1.6
Довжина шлангу, м		3
Маса, кг		0.6
Габаритні розміри, мм	довжина	266
	ширина	50
	висота	125

Для зварювання в вуглекислому газі використовують редуктор У-30 (рисунок 2.7). характеристика представлена в таблиці 2.10



Рисунок 2.7 - Редуктор У-30

Таблиця 2.10 - Технічна характеристика газового редуктора У-30

Параметр	Значення
Робочий газ	CO_2
Число ступенів	2
Тиск газу, кПа	
- найбільший	10000
- робочий	100-400

Найбільша витрата газу, $\text{л}^3/\text{год}$	1.8
Маса, кг, не більше	3.7
Габаритні розміри, мм, не більше	485x160x172

Для забезпечення вищої якості виробу, а також з метою підняття серійності випуску пропонуємо механізоване зварювання замінити автоматичним, що дасть змогу досягти поставлених задач.

Таким чином, для автоматичного зварювання нержавіючої ємності в середовищі $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ приймемо автоматичну голівку для дугового зварювання А1406



Рисунок 2.8 – Загальний вигляд автомата А 1406

Таблиця 2.11 – Технічна характеристика автомата А 1406

Найменування параметру	Значення
Номінальна напруга сітки живлення, В	380
Захист зони зварювання	$(\text{CO}_2 + \text{O}_2)$

Номінальна частота, Гц		50
Електродний дріт	Діаметр, мм	1,2-2
	Швидкість подачі, м/год	17-553
Номінальний зварювальний струм при ПВ=60%, А		500
Границі регулювання зварювального струму, А		60-500
Джерело живлення		ВДГ-303
Витрати захисного газу л/год		500-960



Рисунок 2.9 – Загальний вигляд випрямляча дугового КИУ – 501

Таблиця 2.12 – Технічна характеристика випрямляча КИУ – 501

Границі регулювання робочого зварювального струму, А	50 – 500
Номінальний робочий зварювальний струм, А	500
Режими роботи, ПН %	60
Номінальна робоча напруга, В	-
Границі регулювання робочої напруги, В	22 – 46

Напруга холостого ходу,	В	85
Номінальна напруга мережі,	В	3×380
Первинна потужність,	КВ · А	40
Габаритні розміри,	мм	730×590×830
Маса,	кг	230



Рисунок 2.10 - Роликовий зварювальний обертач універсальний NHTR-1000

РОЗДІЛ 3

КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Опис загальних та обґрунтування вибору персоніфікованих пристосувань

Розгляд існуючих чи обґрунтування вибору з існуючих - один із головних етапів технологічного виготовлення виробів. Розроблення нового типу пристосування чи комбінування з існуючих проводяться на основі:

- вивчень креслень а також технічних умов на певну конструкцію;
- виготовлення похідних заготовок та стан їх вихідних поверхонь;
- розроблення технологічного процесу власне виготовлення виробу.

При технічному обґрунтуванні потрібно порівнювати та аналізувати: прогресивність пристосування (продуктивність, механізацію, раціональність устаткування чи обладнання, можливість забезпечення якості трудомісткості, умови праці та техніки безпеки, забрудненість середовища та інше.); тривалість повного виробничого циклу; габарити та масу використаних пристосувань, площі та об'єму виробничих приміщень; необхідну кількість працівників; питому продуктивність; завантаження виробничого обладнання; витрати електроенергії та матеріалів.

Задля виготовлення якісних зварюваних конструкцій потрібно забезпечити правильне складання деталей виробу.

Процес складання майбутнього виробу перед виготовленням поділяється на ряд послідовних операцій:

- доставка складальних одиниць до місця базування;
- власне складання;
- закріплення перед зварюванням;

Отже розуміємо що базовим призначенням всього наявного складального обладнання є повне фіксування і закріплювання зварюваних деталей.

Для складання та зварювання технологічних одиниць застосовують спеціальні складальні кондуктори, а зі всіх складальних одиниць формують основний виріб та зварюють у стапелі.

Кондуктор для складання - пристосування, яке складається із площинної чи просторової рамної конструкції (різних форм), на якій розташовані направляючі та затискні елементи. У кондукторах проводиться складання та подальше зварювання виробу, тому його основа (кондуктора) повинна бути жорсткою і чіткою для компенсування деформівних зусиль, що виникають в процесі зварювання.

3.2 Вибір типу упорів

Установчі елементи чи фіксатори забезпечують правильне взаємовстановлення деталей вузла в складальному пристосуванні.

Згідно особливостей фіксування заготовок фіксатори поділяють на: упори, призми, опори, установочні пальці та знімні шаблони.

Упори використовують схему базування заготовок за боковими плоскими поверхням. Упори можуть бути постійними, відкидними, знімними, відвідними та поворотними. Постійні упори служать для фіксації однієї чи двох деталей в горизонтальній площині, або для чіткого закріплення деталей при складанні для виготовлення в горизонтальній та вертикальній площинах.

До фіксаторів ставляться наступні вимоги:

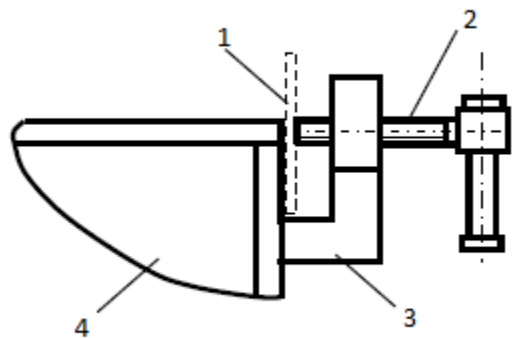
- забезпечення точності при встановленні деталей;
- технологічне встановлення деталей в технологічно складальне пристосування;
- спрощений доступ до виконуваного зварного з'єднання;
- задовільні міцність та жорсткість, задля уникнення залишкових деформацій даного виробу в процесі зварювання;
- можливість вільного знімання виробу.

3.3 Вибір типу затискних елементів

До затискних елементів відносяться притискачі та затискачі, які мають забезпечувати:

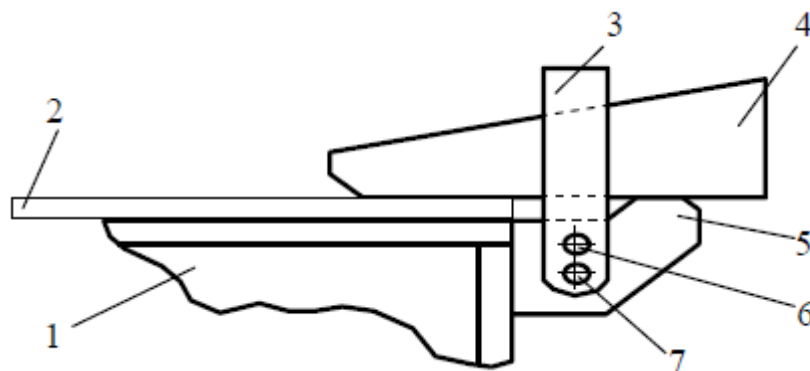
- рівнонаправлене прикладання зусилб для закріплення деталей, відповідно без зсувів стосовно баз;
- нерухоме закріплення деталей протягом повного циклу виготовлення;
- швидкість встановлення;
- можливість зручного переміщення чи зміни положення;
- оптимальну швидкість приведення в дію.

Притискачі можуть бути ручними чи механізованими. Ручні притискачі умовно поділяють на гвинтові, клинові, важільні та ексцентрикові. За видом робочого приводу механізовані притискачі поділяються на гідравлічні, пневмогідравлічні, пневматичні, з постійним магнітом та електромагнітні. Зустрічаються комбіновані варіанти, коли затискачі об'єднують з упорами чи фіксаторами.



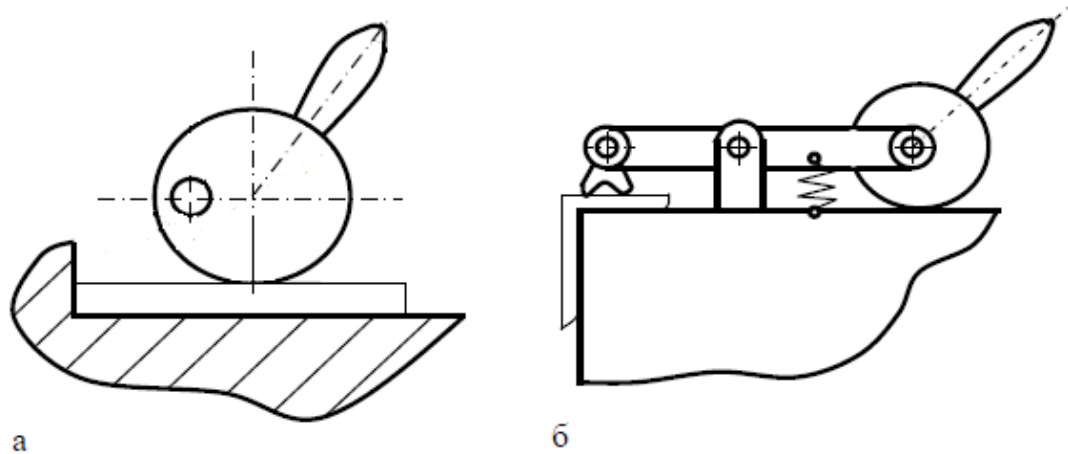
1- умовна заготовка; 2- різбовий гвинт; 3- з'єднувальний кронштейн; 4- стенова рама.

Рисунок 3.1 - Загальний вигляд гвинтового притискача



1- стіл-стенд; 2- умовна заготовка; 3- механічна скоба; 4- фіксуєчий клин; 5- планка опорна; 6- направляючий штир; 7- вісь.

Рисунок 3.2 – Загальний вигляд, клинового притискача із відкидною скобою



а-прямой дії; б -ексцентриково важільний.

Рисунок 3.3 – Загальний вигляд ексцентрикового притискача

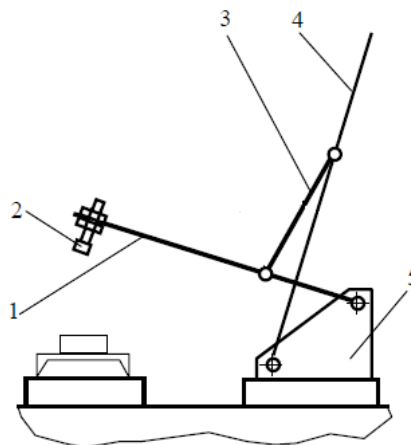


Рисунок 3.4 – Схема шарнірно- важільного притискача

Притискачі із механізованим робочим приводом, хоч вони дорожчі та складніші, мають ряд переваг: більші притискні зусилля; підвищену швидкодію.

Гвинтові притискачі – універсальні та надійні в експлуатації, мають просту конструкцію та зменшені зусилля, що прикладаються стосовно виробу. В парі з такими притискачами часто використовують важільні пневмо-привідні затискачі.

Застосування сучасних пневматичних притискачів відчутно скорочують допоміжний час в процесі виготовлення зварних конструкцій завдяки. Пневмо притискачі забезпечують достатнє зусилля складання та миттєве закріплення чи вивільнення заготовок чи вузлів.

Розрізняють три основні типи пневмопритискачів:

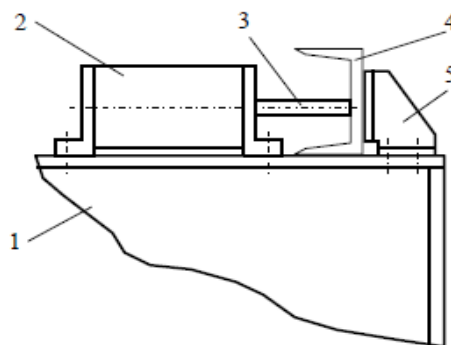
- а) пневмоциліндри односторонньої чи двосторонньої спрямованості;
- б) пневматичні камери (діафрагмові);
- в) пневматичні шланги.

У СЗП (скл. зв. пристроях) використовуються пневмо притис-качі прямої дії та пневмоважільні системи. Широке застосування пневматично-важільних систем пов'язано з можливістю контролювати ними складальні зусилля притискування і величину переміщення робочих вузлів.

Перевагами пневмопритискачів можна вважати: доступність; порівняна простота конструкції; швидкодія; зручність керування.

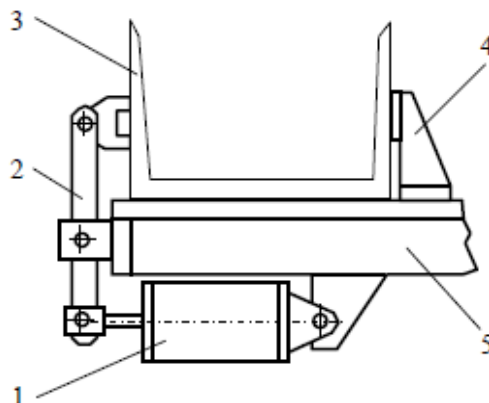
Недоліками пневмопритискачів є: контроль за швидкістю ходу; необхідність в обезволоженні повітря; обмеженість величини сили (20 ...30 кН); підвищена шумність роботи.

Приклади застосування пневматичних притискачів різного виду в складально-зварювальних пристроях наведені на рисунках нижче.



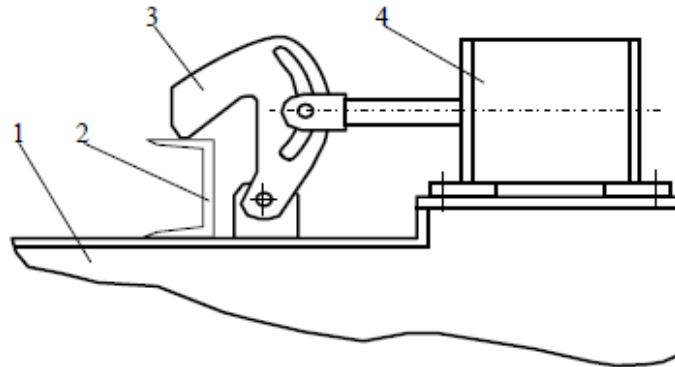
1- стендова рама; 2-пневмоциліндр; 3-робочий шток; 4- умовна заготовка; 5- технологічний упор.

Рисунок 3.5 – Загальний вигляд пневматичного притискача прямої дії



1-пневматичний циліндр; 2-робочий важіль; 3-умовна заготовка; 4-упор; 5-стендова рама.

Рисунок 3.6 – Загальний вигляд пневматично-важільного притискача



1- стендова рама; 2-умовна заготовка; 3-технічний важіль; 4-пневмоциліндр.

Рисунок 3.7 – Загальний вигляд пневмоважільного притискача

Характерною особливістю притискачів є однобічність прикладання зусилля притискання. Затискачі ж затискають деталь одночасно із обох боків. Затискачі мають дві робочі поверхні, розташовані одна проти одної.

Для зварювання металевих дверей необхідно провести правильне складання деталі, чітке взаємне розміщення та закріплення, а також провести процес зварювання на якісному рівні.

Використання спеціальних складальних пристосувань дозволяє підвищити продуктивність праці, а також покращити якість власне складання.

Для виконання складальної операції використовують складальне чи складально – зварювальне пристосування.

Складений виріб повинен володіти шорсткістю і міцністю, яка необхідна для вилучення його з складального пристосування і транспортування цього виробу до місця зварювання, так і для зменшення деформації при зварюванні.

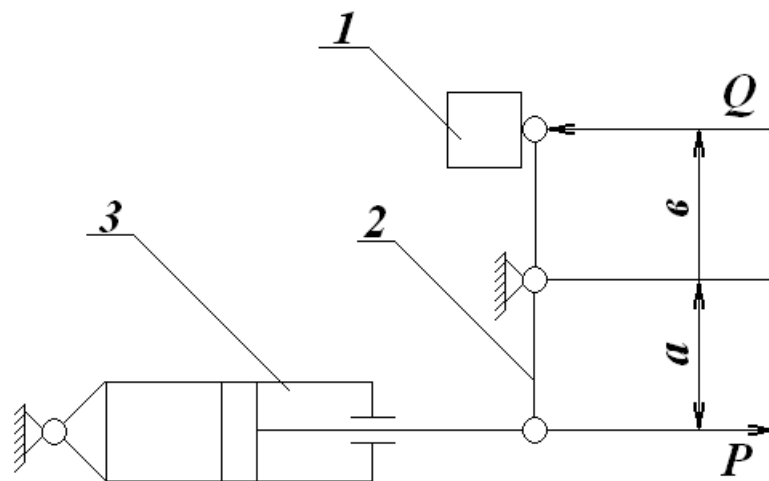
Після складання і прихоплення виріб з кондуктора для складання переносимо на автоматичну зварювальну установку для дугового зварювання прямо шовної труби середнього діаметру в середовищі суміші вуглекислого газу та кисню.

3.4 Опис пристосувань запропонованих для виготовлення ємності

Отже для виготовлення металевої ємності застосовуємо спеціальні пристосування обладнані нерухомими упорами та затискачами які працюють від пневмоприводу пневмоциліндра односторонньої дії.

В складальному кондукторі для складання металевих дверей для надійної фіксації ми використали в якості силового приводу 12 пневмоциліндрів односторонньої дії.

Схема механічного підсилювача наведена на рисунку 3.8

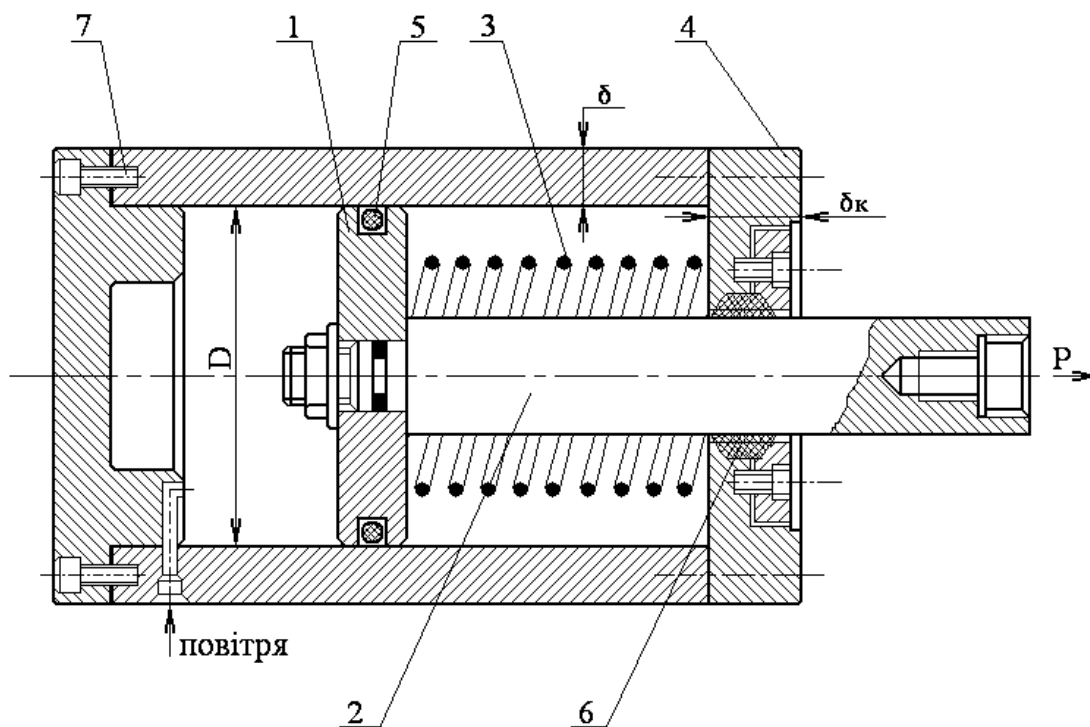


1

– виріб; 2 – важіль; 3 – пневмоциліндр

Рисунок 3.8 – Кінематична схема важільного механізму підсилювача до приводу складально – затискного пристосування.

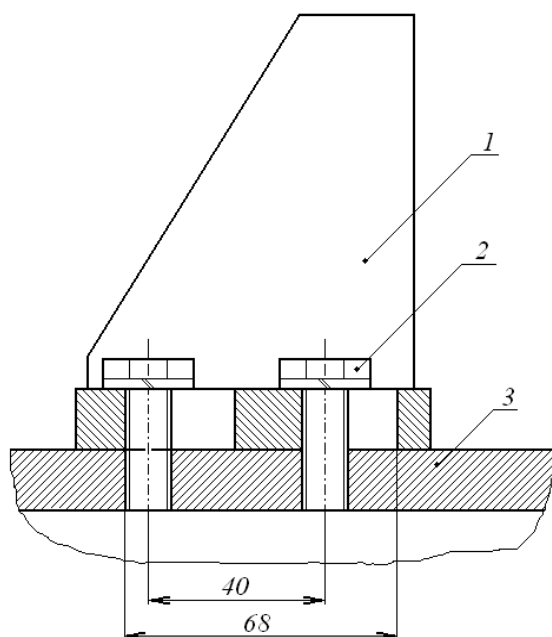
Даний пневмоциліндр виготовлений з конструкційної мало вуглецевої сталі ВСт 3 пс. Пневмоциліндр односторонньої дії показано на рисунку 3.9.



1 – поршень; 2 – шток; 3 – пружина; 4 – кришка пневмоциліндра; 5 – резинові ніпелі; 6 – войлочне ущільнення; 7 – кріпильні елементи; P – зусилля на штоці пневмоциліндра односторонньої дії, кН

Рисунок 3.9 – Пневмоциліндр однобічної дії

Схема постійного упора, який застосовується як один з елементів для правильного встановлення даної конструкції показана на рисунку.



1 – упор; 2 – різьбові елементи; 3 – основа кондуктора

Рисунок 3.10 – Схема постійного упора

Отже в цілому пристосування для складання та автоматичного зварювання металевої ємності з нержавіючої сталі складається з власне установки та спеціальних зварювальних пристосувань, на яких застосовані затискні механізми та нерухомі упори.

3.5 Перевірочний розрахунок міцності конструкції

При виготовленні корпусу ємності для рідини використовується стикове з'єднання рисунок 3.11, тому розрахунок будемо проводити для стикових швів. Схематичне зображення розташування основних зварних швів при виготовленні корпусу показано на рисунку 3.12

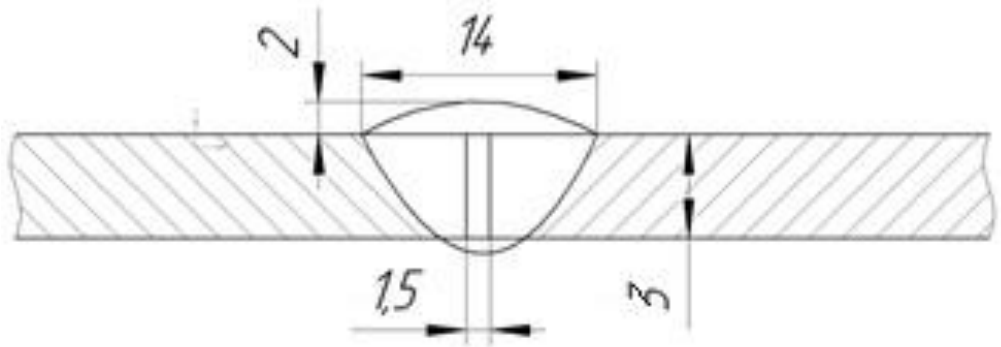


Рисунок 3.11 – Схематичне зображення основного шва

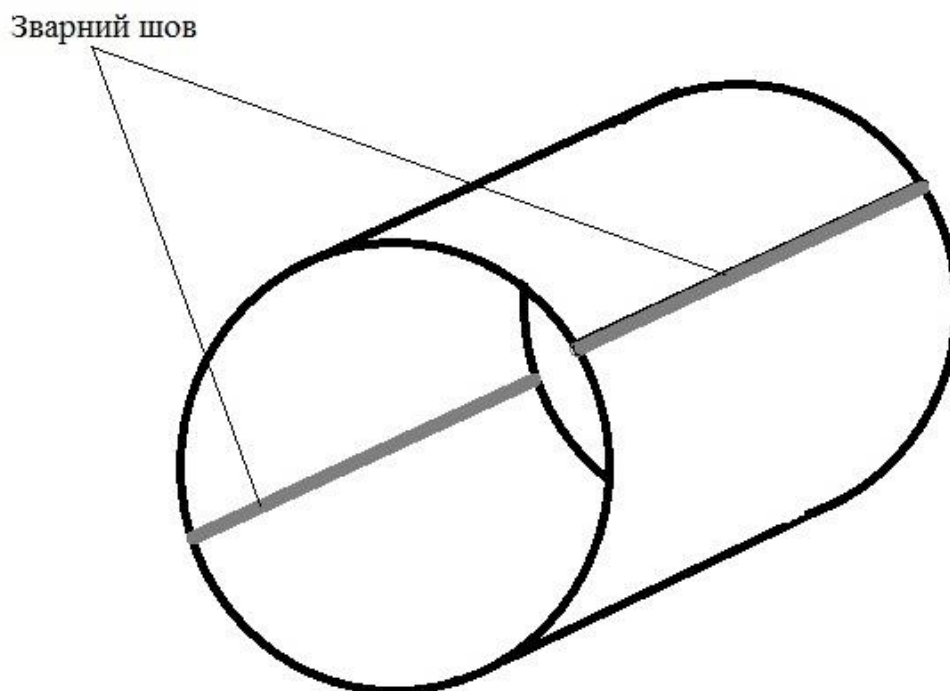


Рисунок 3.12 – Схема зварного стикового з'єднання

Проведемо розрахунок міцності зварного шва за формулою:

$$[\sigma'] = \frac{P \cdot r}{2 \cdot S}, \quad (3.1)$$

де $[\sigma']$ – допустиме напруження на розтяг металу зварного шва,

$$[\sigma'] = 0.9[\sigma] = 0.9 \cdot 175 = 157.5 \text{ МПа},$$

$$\text{де } [\sigma] = \frac{\sigma_B}{n} = \frac{350}{2} = 175 \text{ МПа},$$

тут n – коефіцієнт запасу міцності;

r – радіус заготовки, $r = 600$ мм,

S – товщина стінки, $S = 3$ мм.

Звідси допустимий тиск який витримає виріб:

$$P = \frac{2 \cdot [\sigma'] \cdot S}{r} = 1,58 \cdot 10^6 \text{ Па} = 1,58 \text{ МПа}, \quad (3.2)$$

Зварювання обичайки нержавіючого резервуара для води проводиться за різними тех процесами та з використанням необхідного обладнання.

Для цього ми використовуємо складально-зварювальне пристосування для складання і зварювання сталених обичайок. Так, як технологічно дане з'єднання слід проводити однобічним зварюванням, то за допомогою спеціального роликового стенда (рис. 3.13) проводимо зварювання із зовнішньої сторони.



Рисунок 3.13 - Роликовий зварювальний обертач універсальний NHTR-1000

Поздовжній шов виконується за рахунок поздовжнього переміщення зварювальної головки вздовж лінії з'єднання країв обичайки, а кільцевий шов для приварювання днища виконується за рахунок обертання роликового обертача при нерухомій зварювальній головці.

Режими зварювання контролюємо задля дотримання параметрів процесу. Отриману якість зварного шва для початку перевіряємо візуальним оглядом зварного шва

Зовнішнім оглядом спочатку перевіряємо якість та підготовку листових заготовок для зварювання нержавіючої ємності, та готових зварних швів. Зовнішній огляд дає достатню інформацію про якість зварного шва. Це найбільш дешевий і оперативний метод контролю якості.

Також перевіряємо герметичність шва методом ультразвукової дефектоскопії.

РОЗДІЛ 4.

НАКОВО ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

4.1 Загальні вимоги до монтажно-зварювальних пристроїв

Розробка зварювальних апаратів є одним із етапів технологічної підготовки виробництва нової продукції. В основі розробки нового пристрою або модернізації існуючого:

- 1) вивчення креслень і ТУ (ТУ) на зварну конструкцію;
- 2) розробка (вивчення) технологічного процесу виготовлення виробу;
- 3) аналіз виробничої програми по випуску продукції.

Зварювальні пристосування проектуються в основному за методами, подібними до тих, що використовуються для конструювання пристосувань для механічної обробки, але відрізняються від останніх способами кріплення та закріплення деталей і виробів:

1) Зібраний для зварювання виріб зазвичай складається із значної кількості різноманітних деталей. Виконується їх установка в апарат послідовно, а фіксація зазвичай здійснюється незалежно один від одного. Крім того, вони повинні бути закріплені або затискачами, або прихватками і затискачами (з мінімальними зазорами);

2) Пристрої повинні зменшувати деформації деталей і конструкцій, викликані термічним впливом зварювання;

3) При недостатній фіксації в процесі зварювання з'єднання можуть розкритися, збільшитися зазори, змінитися перегин кромки та інші параметри з'єднання, що збирається для зварювання.

Монтажне пристосування завдяки своїй жорсткості повинно забезпечувати задане розташування деталей у складальній одиниці під час зварювання прихватками.

Задану точність встановлення деталей у пристосування забезпечують кріпильні елементи, точність розміщення яких залежить від допусків на лінійні розміри виробу, діаметрів кріпильних хомутів, розмірів плоских упорів тощо. Допуски на лінійні розміри в складальних і зварювальних пристосуваннях

вибираються в межах 0,5...0,75. для відповідних розмірів у виробках. Виникнення похибок кріплення пов'язане з можливими деформаціями деталей і пристосування, а також зминанням їх контактних поверхонь під дією сили затиску. Зусилля затиску, особливо при зварюванні тонкостінних оболонок, досить важко контролювати в заводських умовах, так як затиск виробу в зварювальному пристосуванні здійснюється вручну. Надмірне затискання призводить до перевищення допусків розмірів на циліндричність і необхідності використання операції калібрування після зварювання кільцевих стикових швів, що значно збільшує собівартість виробу.

Максимальна радіальна сила розширення концентричних секторів при зварюванні окружних стикових швів оболонок обмежена межею текучості матеріалу. Однак занадто мале його значення може призвести до радіальних зсувів зварюваних кромek через термічні дії розширення при нагріванні значної зони біля краю, а при подальшому складанні таких оболонок одна з одною утворюється сходинка, що є неприпустимим. При агрегатному зварюванні часто виникають труднощі через невідповідність посадкових і приєднувальних розмірів вузлів, зібраних після зварювання через виникли переміщень, тому часто доводиться підганяти окремі вузли вручну, а іноді проводити попередню повну збірку, що значно скорочує можливості механізації та автоматизації зварювального виробництва.

Крім конструктивних особливостей зварювального пристосування і умов кріплення виробу, на розподіл залишкових деформацій після зварювання впливають фактори, пов'язані з надходженням тепла в зварюваний виріб - величина вкладеної лінійної енергії і теплопередачі в мідь підкладка.

Враховуючи, що в реальному зварювальному виробництві, яке динамічно розвивається, остаточне освоєння режиму зварювання здійснюється на повномасштабних і дорогих агрегатах, актуальним є отримання розрахункової моделі, яка зможе забезпечити не тільки вибір режимів зварювання, але й виключають необхідність їх експериментального налаштування на виробництві, а також прогнозують залишкові деформації виробу після зварювання.

Широко використовувані аналітичні методи розрахунку напружень і деформацій дають приблизну оцінку і не дозволяють врахувати більшість

факторів, що впливають на розподіл деформацій після зварювання на арматурі. З розвитком комп'ютерних технологій для оцінки власних деформацій і напружень конструкцій стало можливим використовувати кінцево-елементне моделювання з використанням комерційних програмних пакетів загального призначення (ABAQUS, ANSYS, SolidWorks) і спеціалізованого (SYSWELD, Weld Planner) програмного забезпечення. Точність чисельних розрахунків з використанням таких моделей значно вище.

4.2 Чисельні методи розрахунку зварювальних деформацій і напружень

Для чисельного розрахунку деформацій і напружень після зварювання зазвичай використовують прямий і непрямий методи.

Прямий метод в основному використовується в двонаправлених пов'язаних задачах, у яких результат теплового аналізу впливає на механічний (деформаційний) аналіз і навпаки, термічний залежить від механічного.

Результатом механічного аналізу є картина розподілу напруг і деформацій. Для використання прямого методу вибраний елемент моделі повинен включати як термічні, так і механічні ступені свободи. Результати термічного та механічного аналізів можна отримати одночасно. Однак у деяких випадках вплив механічного аналізу на термічний аналіз настільки малий, що ним можна знехтувати.

Непрямим методом можна розв'язувати зв'язані задачі в одному напрямку, тобто розв'язки задач термічного та механічного аналізу виконуються окремо. Розподіл температури для всіх вузлів можна отримати з теплового аналізу на першому кроці та використати як навантаження на вузли для вирішення механічного аналізу на другому кроці. У цьому випадку теплові елементи повинні бути перетворені в механічні на другому етапі.

Механічний аналіз у зв'язаному моделюванні залежить від розподілу температурного поля в термічному аналізі. Однак для отримання результатів, наближених до реальності, необхідно вжити ряд важливих заходів:

1. У механічному аналізі сітка кінцевих елементів (тип і розмір кінцевих елементів) має бути точно такою ж, як і в термічному аналізі;
2. Тип елемента, який використовується в термічному аналізі, необхідно

змінити на відповідний тип елемента для механічного аналізу;

3. Після проведення термічного аналізу необхідно ввести механічні властивості матеріалу;

4. Перехідна стадія механічного аналізу має бути ідентичною перехідній частині термічного аналізу, це означає, що точна кількість кроків часу та час одного кроку повинні збігатися, щоб уникнути плутанини та помилкових результатів;

5. Для кожного тимчасового кроку механічного аналізу необхідно зчитувати макрос із текстового файлу.

Згідно з роботами найбільш доцільним вибором варіанту поведінки пластичності, що підтримується пакетом ANSYS, для побудови термодеоформаційної моделі аргонодугового однопрохідного стикового зварювання тонколистових зразків з аустенітного корозійно-дугового зварювання стійкою сталлю є модель білінійного кінематичного зміцнення (БКІН), загальний вигляд якої наведено на рис. 4.1, а. Білінійний кінематичний варіант зміцнення (див. рис. 4.1, б) передбачає, що повний діапазон напружень дорівнює подвоєній межі текучості з урахуванням ефекту Баушингера, згідно з яким при повторному навантаженні в протилежному напрямку (стиснення), завдяки ефекту Баушингера матеріал деформується легше, ніж якби він деформувався під навантаженням у тому ж напрямку, що й попередній один. Ефект спостерігається при низьких значеннях попередньої деформації (до 1%), зменшуючись зі збільшенням попередньої деформації. Ця опція рекомендована для загального використання при низьких деформаціях для матеріалів, які підкоряються критерію пластичності фон Мізеса (який включає більшість використовуваних металів).

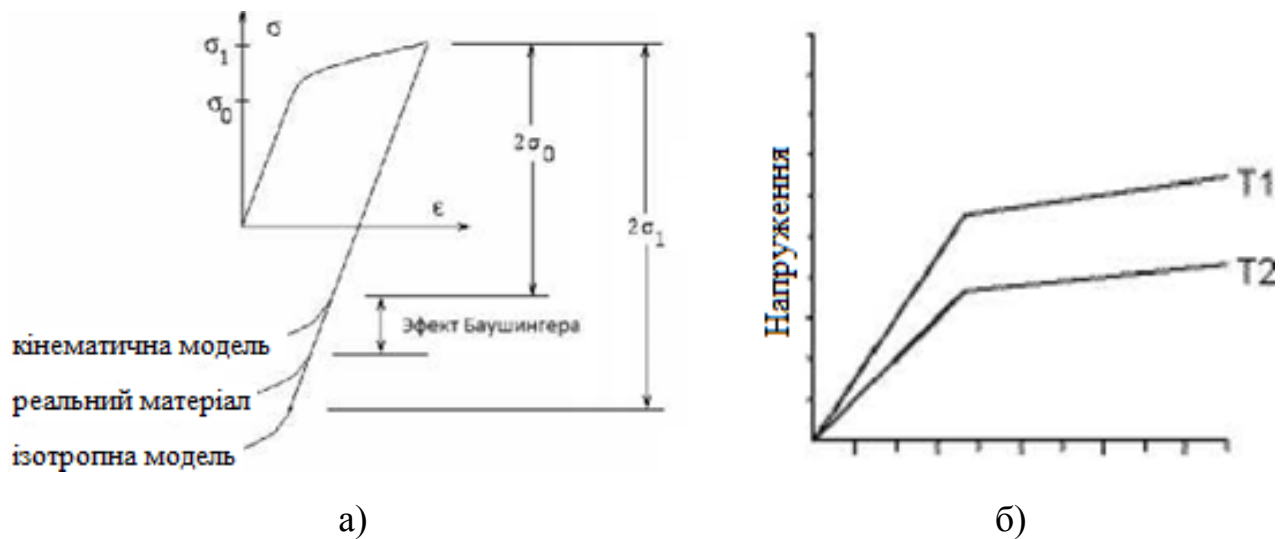


Рисунок 4.1 – Ефект Баушингера (а) та прояв білінійних кінематичних властивостей зміцнення в моделі БКІН (б)

Оскільки нашим завданням є оцінка впливу геометрії зварного шва та умов кріплення виробу на розподіл залишкових деформацій, доцільно розглянути типи зварних швів, які становлять найбільший інтерес для прогнозування залишкових деформацій і найчастіше зустрічаються в конструкції агрегатів і вузлів турбореактивних двигунів в авіаційній промисловості:

- 1) поздовжній зварний шов при зварюванні оболонки;
- 2) кільцевий зварний шов при зварюванні корпусу з фланцем на мідній основі в пристосуванні.

При моделюванні залишкових деформацій у таких виробах у першому наближенні розглядалося стикове з'єднання тонколистових зразків однакової товщини, отриманих аргонодуговим зварюванням з притиском до мідної основи.

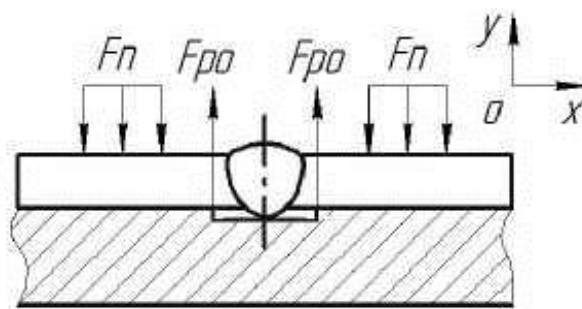
4.3 Розрахунок залишкових деформацій при аргонодуговому зварюванні плоских зразків на підкладці

Чисельне моделювання залишкових деформацій пластини після зварювання проводилось для режимів, що відповідають мінімальному та максимальному вкладенню лінійної енергії в досліджуваних діапазонах зміни параметрів режиму зварювання для наступних товщин корозійностійкої аустенітної сталі: товщина 1,5 мм - $I_{зв}=115$ А, $V_{зв}= 18$ і 27 м/год; товщина 2,0 мм - $I_{зв}=140$ А, $V_{зв}= 16$ і 25

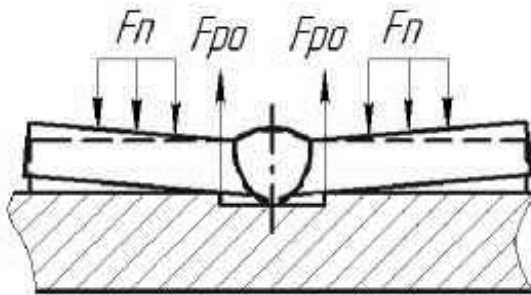
м/год; товщиною 3,0 мм - $I_{зв}=210$ А, $V_{зв}=14$ і 20 м/год. У режимі з максимальним підведенням лінійної енергії в досліджуваних діапазонах зміни параметрів режиму зварювання визначали ступінь впливу ширини канавки в мідній підкладці на розподіл залишкових деформацій у зоні шва для плоских зразків з товщиною 1,5; 2,0 і 3,0 мм з шириною канавки $a=6$ і 8 мм.

Чисельне моделювання проводилось у 3 етапи (див. рис. 4.2) для досягнення максимального наближення до умов нагріву та охолодження металу стикового з'єднання під час зварювання на підкладку затискачами двох плоских зразків: етап 1 (Loadstep 1) відображав умови фіксації моделі під час нагрівання пересувним комбінованим джерелом тепла; на другому етапі (Loadstep 2) під час охолодження з'єднання відбулася тимчасова поздовжня і поперечна усадка стикового зварного з'єднання ($t_2 = 30$ с); на третій стадії (Loadstep 3) стикове зварне з'єднання було розблоковано та визначено значення поздовжньої $\Delta_{пз}$ і поперечної усадки $\Delta_{поп}$ стикового з'єднання досяг максимального значення ($t_3=10$ с).

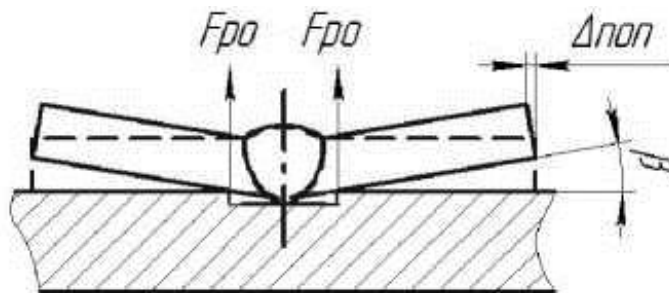
На рисунку 4.3 показано реалізацію схеми обмеження в пакеті ANSYS/Multiphysics. Для більшої наочності чисельної реалізації задачі термічної деформації в якості 3D моделі використано пластину, побудовану за допомогою функції Extrude з 2D моделі в площині XOY. Ця операція була необхідна для того, щоб використовувати вікна щільності сітки для зменшення розмірів кінцевих елементів у зоні зварювання. Після цього вихідну кінцево-елементну сітку 2D-моделі було видалено. Стикове з'єднання складалося з 2 плоских зварених зразків.



а) 1 стадія нагрівання



б) 2 стадія - охолодження

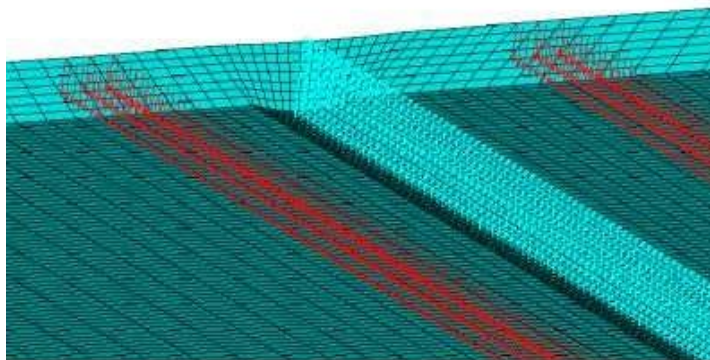


в) 3 стадія - відпуск

Рисунок 4.2 – Схеми кріплення стикового з'єднання з плоских зразків при зварюванні та охолодженні

Для того, щоб вісь симетрії зварного шва збігалася з площиною симетрії 3D моделі, поверхня, утворена осями симетрії зварного шва, була позбавлена ступеня вільності $X=0$. Червоними стрілками показано зусилля затиску хомутів (рис. 4.3, а). На зворотному боці зразка лінії, що вказують на ширину канавки в мідній накладці, позбавлені свободи по $Y=0$. Для збереження балансу сил у розрахунковій схемі та покращення збіжності розчину на лицьовій і тильній поверхнях зварного шва вибрано одну точку з позбавленням ступеня свободи по $Z=0$.

Розмір скінченних елементів у 3D-моделі в зоні зварювання становив 0,4 мм, а на краях пластини – 1,0 мм (див. рис. 4.3, б).



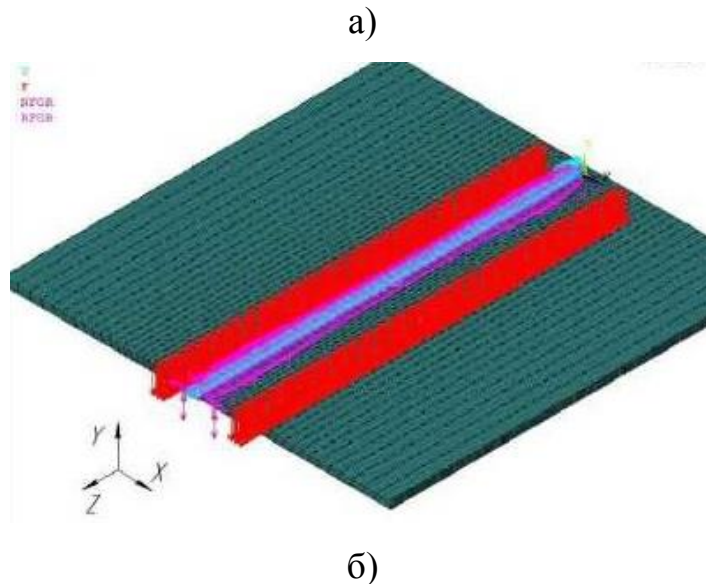


Рисунок 4.3 – Умови фіксації 3D моделі в пакеті ANSYS/Multiphysics

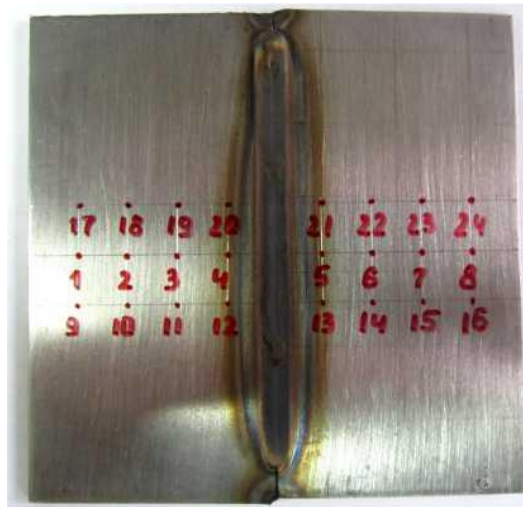
Початкова температура сталевій пластини та навколишнього середовища вважалася постійною і становила 23 °С для всіх чисельних експериментів.

4.3.1 Верифікація чисельної термодеоформаційної моделі розподілу залишкової деформації при аргонодуговому зварюванні плоских зразків

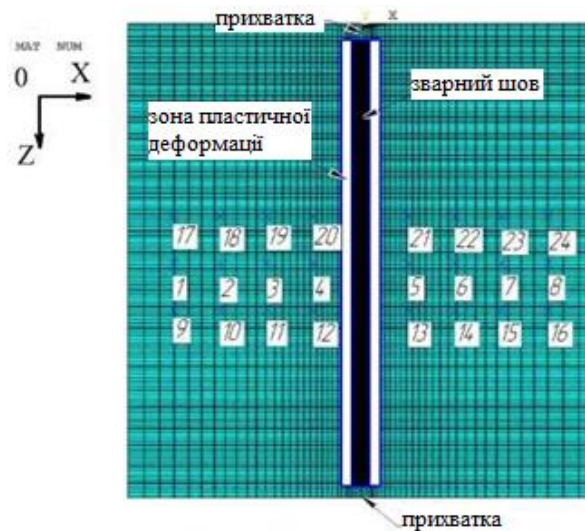
Експериментальна перевірка моделі проводилась на плоских зразках із тонколистової корозійностійкої аустенітної сталі марки 12X18H10T розмірами 100×50 мм і товщиною 1,5; 2,0 і 3,0 мм, прихватками на торцях згідно з рисунком 4.4, і в режимах ArDS з мінімальним і максимальним підведенням лінійної енергії q_p в досліджуваних діапазонах зміни параметрів режиму зварювання. Перед зварюванням прихватками зразки зачищали наждачним папером, торці ретельно підганяли один до одного.

Для зварювання на всіх режимах використовували вольфрамові електроди WL-20 діаметром 3 мм з кутом заточування 30°; довжина міжелектродного проміжку становила 3 мм. У кожному режимі проводили по три ідентичні операції зварювання. Перед кожним зварюванням на прихватні зразки наносили мітки (див. рис. 4.4, а), а за поперечним переміщенням міток після зварювання визначали поперечну усадку стикового з'єднання. Поперечний рух міток вимірювали за допомогою інструментального мікроскопа ВМІ-1С з поділкою ± 5

мкм. Розташування міток на зразку (див. рис. 4.4, а) і на кінцево-елементній сітці 3D моделі (див. рис. 4.4, б).



а)



б)

Рисунок 4.4 – Розподіл міток на зразку до зварювання (а) і на елементній сітці 3D моделі (б)

Кутову деформацію зразка визначали вимірювальною головкою Renishaw MP10 5-осьового верстата Стерлітамак 500B5 по поперечному профілю зразка до та після зварювання. У таблиці 4.1 представлені значення кутових деформацій, отримані за експериментальними даними, у вигляді середнього значення для трьох точок, розташованих на одній прямій, паралельній осі OZ (див. рис. 4.4, б), і кутові деформації по осі OY за чисельними тепловими модель деформації.

Таблиця 4.1 – Кутова деформація зварного стикового з'єднання

вздовж осі ОУ

Товщина зразка, мм	1,5 мм		2,0 мм		3,0 мм	
Швидкість зварювання, м/год	18	27	16	25	14	20
β за моделлю, °	0,62	0,73	1,40	0,98	1,70	1,17
β за дослідями, °	0,78	0,72	1,30	1,20	1,82	1,30
Відхилення від експерименту, %	21,0	1,4	7,1	18,3	6,6	10,0

Аналіз даних табл. 4.1 показує, що середнє відхилення кутових деформацій числової моделі від експериментальних даних не перевищує 21 % для всіх режимів. Внаслідок кутової деформації пластини після зварювання відбувається поперечна усадка. На рисунках 4.5 - 4.7 показано значення поперечної усадки: суцільна лінія – відносне зміщення вузлів скінченно-елементної моделі; пунктир – відносне зміщення міток, нанесених на прикріплений зразок, штрихпунктир – результат розрахунку поперечної усадки, де α – коефіцієнт теплового розширення, прийнятий як $\alpha = 18 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, з $\rho = 4,75 \cdot 10^6 \text{ Дж/(м}^3 \text{ К)}$. Цифрами 1 і 2 на рисунках 4.7 - 4.9 позначені максимальна і мінімальна лінійна енергія в досліджуваних діапазонах режимів зварювання.

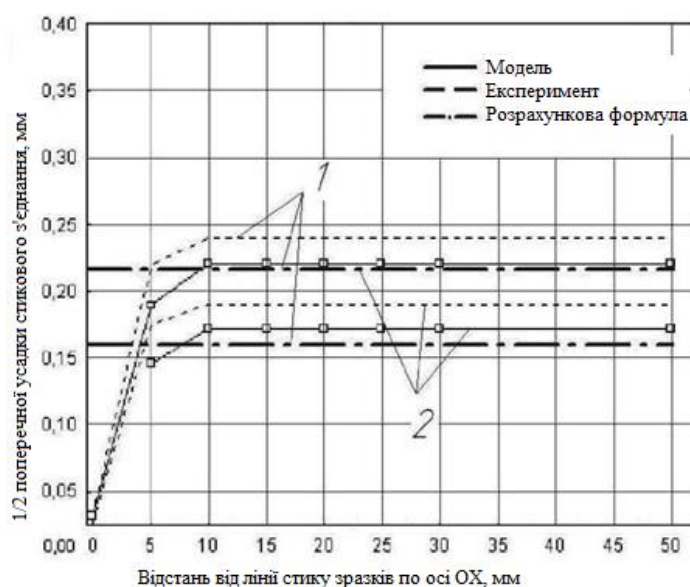


Рисунок 4.5 – 1/2 поперечної усадки стикового шву товщиною 1,5 мм

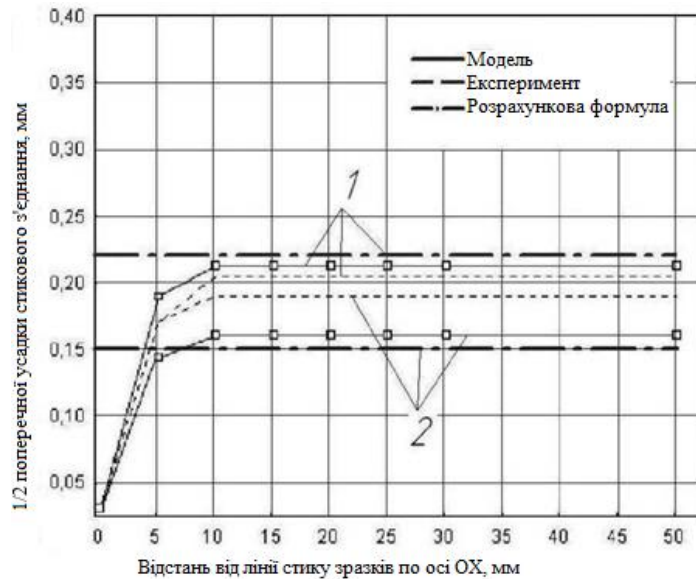


Рисунок 4.6 – $\frac{1}{2}$ поперечної усадки стикового шву товщиною 2,0 мм

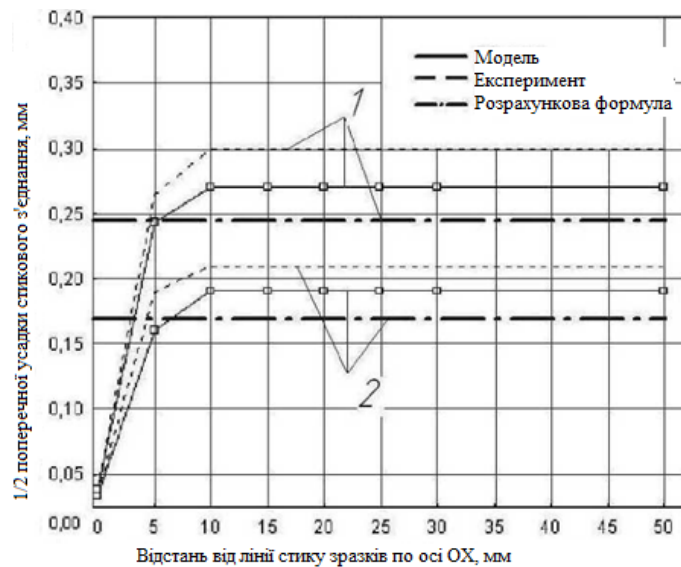


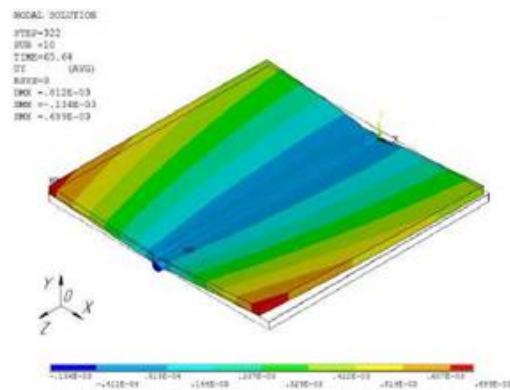
Рисунок 4.7 – $\frac{1}{2}$ поперечної усадки стикового шву товщиною 3,0 мм

З аналізу рисунків 4.5 - 4.7 видно, що похибка вимірювання поперечної усадки стикового з'єднання за чисельною розрахунковою моделлю в порівнянні з експериментальними даними не перевищувала 23%, а різниця між поперечною усадкою числового моделі становила не більше 17%.

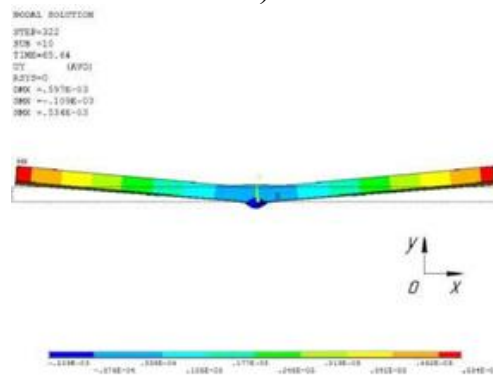
4.3.2 Результати чисельного моделювання впливу термодеомаційного циклу аргондугового зварювання плоских зразків на розподіл залишкових деформацій.

Результати чисельного моделювання впливу термодеомаційного циклу зварювання пластини товщиною 3,0 мм на розподіл залишкових деформацій наведені на рисунках 4.8 – 4.10. Режим зварювання: $I_w=210$ А, $V_w=14$ м/год, $I_{mp}=3$

мм, $q_p=383$ кДж/м. Розподіл відносних переміщень вузлів уздовж осі ОУ і кутової деформації β стикового з'єднання наведено на рисунку 4.8. Контурна лінія показує початкову форму пластини до зварювання.



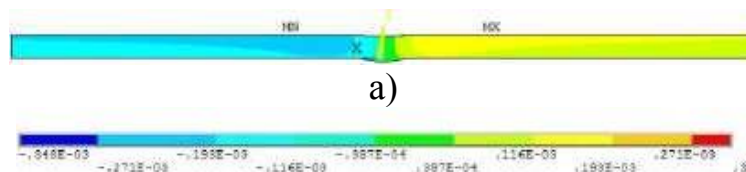
а)



б)

Рисунок 4.8 – Розподіл відносних переміщень вузлів по осі ОУ (а) і кутової деформації β стикового з'єднання (б). Масштабний коефіцієнт $\times 8$

На рис.4.9 показано розподіл відносних переміщень вузлів уздовж осі ОХ, що відповідає поперечній усадці стикового зварного з'єднання. Деяка асиметрія в розподілі полів переміщень відносно центральної осьової лінії вздовж осі ОХ обумовлена тим, що на початку зварювання розподіл температури від рухомого комбінованого джерела опалення не досягло квазістаціонарного режиму опалення.



а)

б)

Рисунок 4.9 – Розподіл відносних переміщень вузлів уздовж осі ОХ (а) та поперечна усадка стикового з'єднання $\Delta_{\text{поп}}$ (б)

Розподіл поздовжніх переміщень вузлів уздовж осі OZ 3D моделі та поздовжня усадка стикового з'єднання $\Delta_{\text{пр}}$ показана на рисунку 4.10.

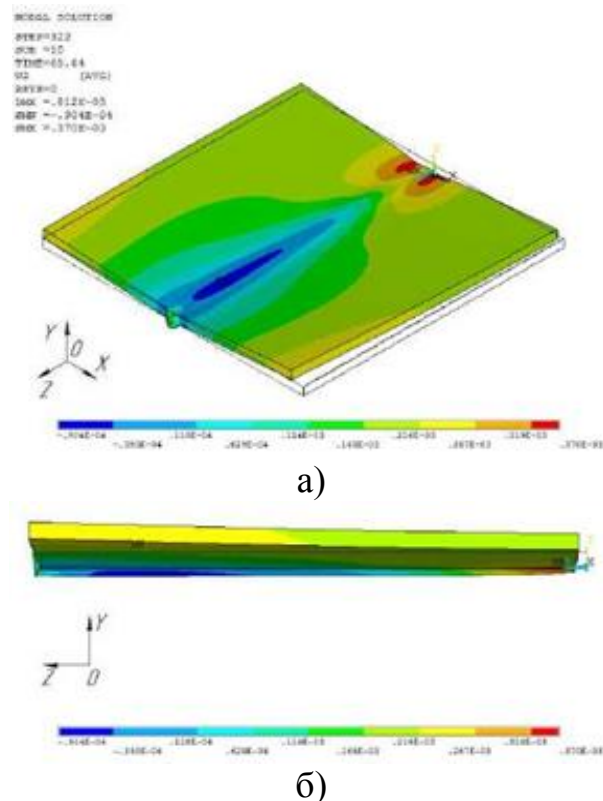
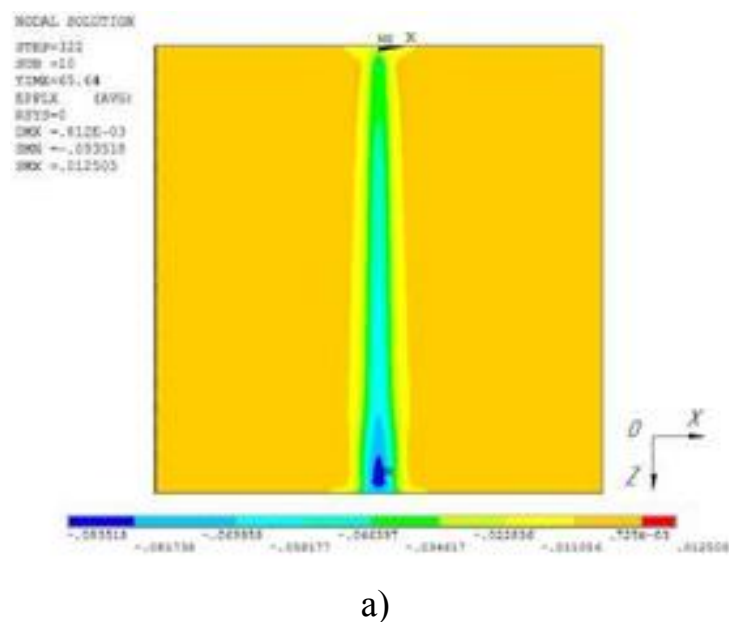


Рисунок 4.10 – Поздовжні переміщення вузлів по осі OZ (а) і поздовжня усадка стикового з'єднання $\Delta_{\text{пз}}$ (б). Масштабний коефіцієнт $\times 8$

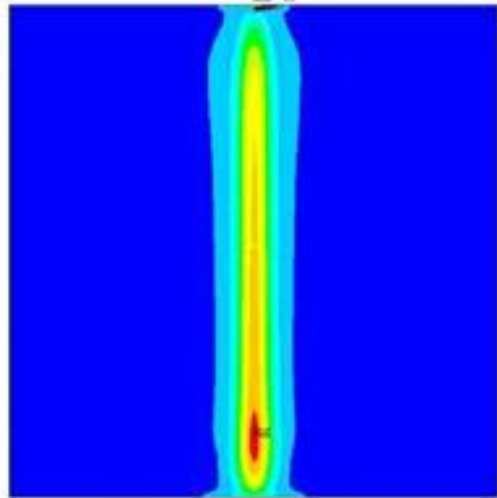
Зони пластичної деформації в зоні зварювання показані на рис. 4.11-4.13. Розподіл ϵ_x пластичних деформацій з фронту (а) і зворотні (б) сторони зварного шва показані на рис. 4.11.





MODAL SOLUTION

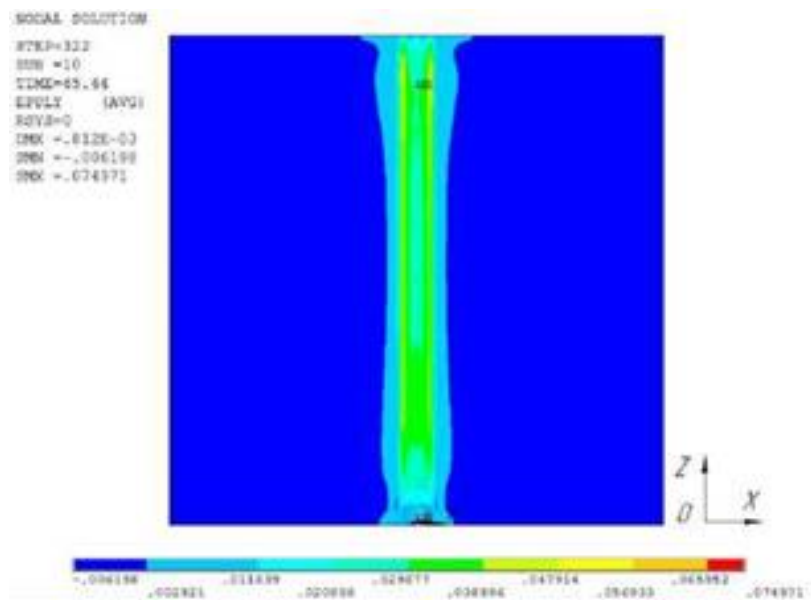
STEP=322
SUB =10
TIME=65.64
EFFECT (AVERAGE)
STEP=0
CASE =,SIZE=03
SMX =-.004196
SMY =-.004196
SMZ =-.074971



0 X
Z

-.004196 .002821 .021619 .020658 .020877 .038896 .047914 .054933 .062882 .074971

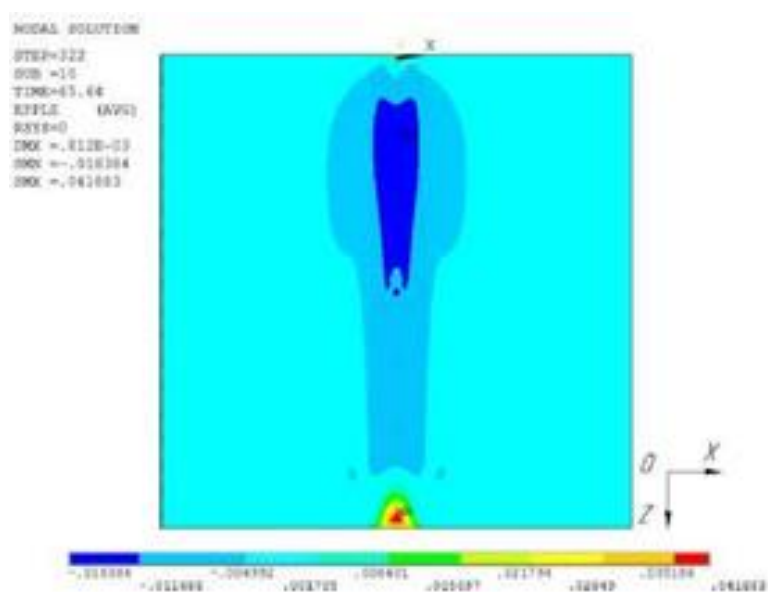
a)



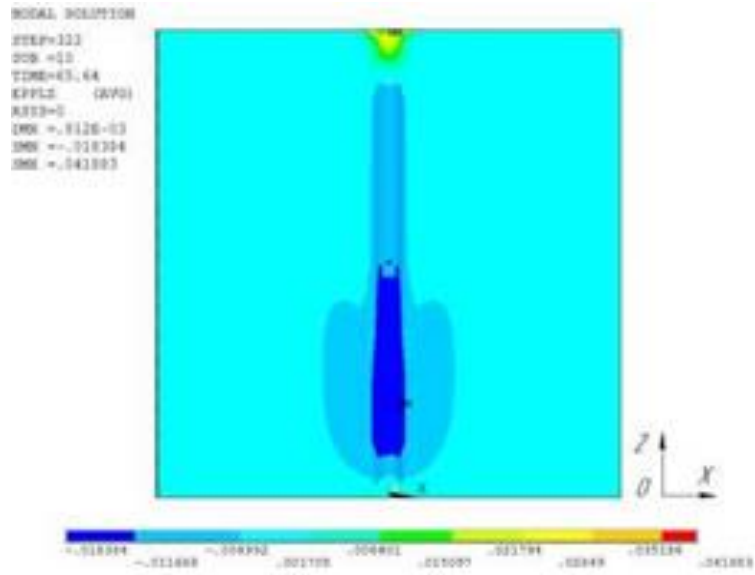
б)

Рисунок 4.12 – Розподіл ϵ_y пластичних деформацій

Розподіл пластичних деформацій ϵ_z на лицьовій (а) і тильній (б) сторонах шва показано на рисунку 4.13.



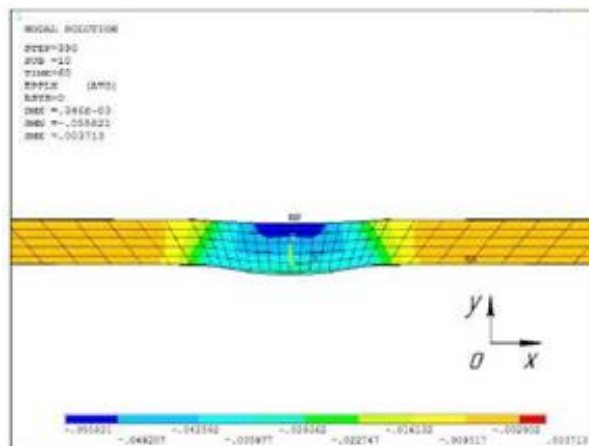
а)



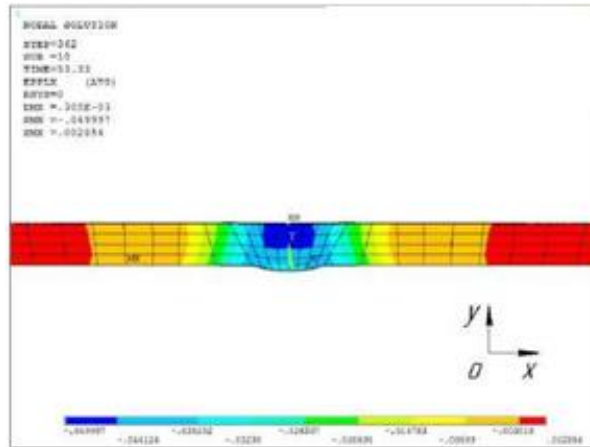
б)

Рисунок 4.13 – Розподіл ε_z пластичних деформацій

Виходячи з точності розрахунків даних за моделлю, прийнято значення суттєвої пластичної деформації $\varepsilon_{\text{пл.зал.}} > 1\%$. На рис. 4.14 показано розподіл полів поперечних пластичних деформацій за фон Мізесом в області зварного шва в площині XOY.



а) $\delta=1,5$ мм, $I_{\text{зв}}=115\text{A}$, $V_{\text{зв}}=18$ м/год



б) $\delta=1,5$ мм, $I_{зв}=115$ А, $V_{зв}=27$ м/год

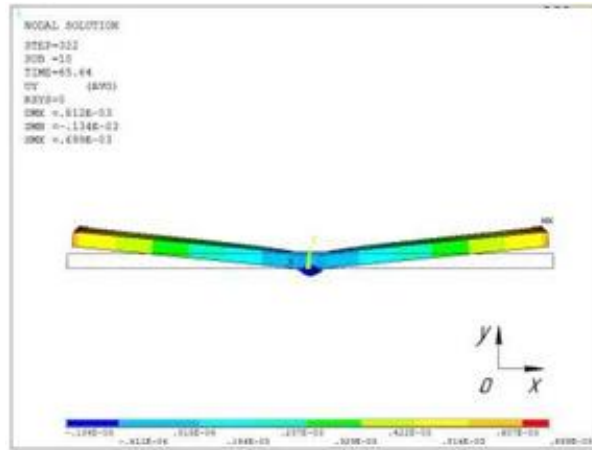
Рисунок 4.14 – Розподіл полів поперечної пластичної деформації за фон Мізесом в зоні зварного шва в площині XOY

Значення ширини зони пластичної деформації в зоні шва для різних товщин матеріалу представлені в таблиці 4.2.

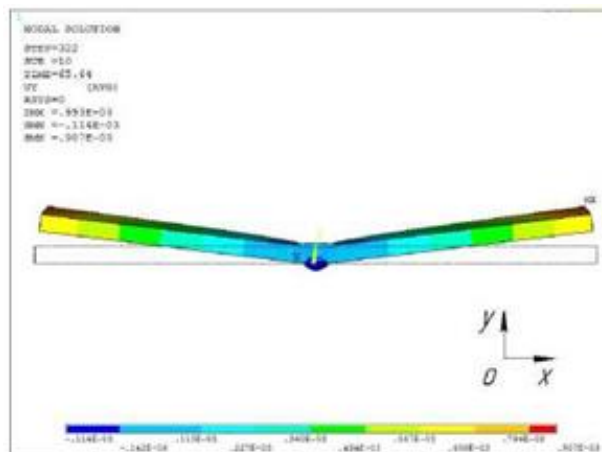
Таблиця 4.2 – Ширина зони поперечної пластичної деформації на лицьовій і тильній стороні шва

Товщина зразка, мм	1,5 мм		2,0 мм		3,0 мм	
Швидкість зварювання,	18	27	16	25	14	20
Ширина зони з лицьового боку шва, мм	9.0	8.6	8.6	7.9	9.9	9.2
Ширина зони з тильного боку шва, мм	9.0	8.8	10.6	7.9	11.3	8.1

В результаті чисельного розв’язання задачі про термічні деформації визначено вплив ширини канавки в мідній підкладці на поперечну усадку $\Delta_{\text{поп}}$ і кутову деформацію β стикового зварного з’єднання, результати вимірювань яких представлені на рисунках 4.15. - 4.16. Режим зварювання: $I_{зв}=210$ А, $V_{зв}=14$ м/год, $l_{мп}=3$ мм, $q_{п}=383$ кДж/м.



а) Ширина канавки 8 мм



б) Ширина канавки 6 мм

Рисунок 4.15 – Кутова деформація β стикового з'єднання. Масштабний коефіцієнт $\times 8$

У результаті чисельного моделювання напружено-деформованого стану стикового зварного з'єднання встановлено, що під час АДЗ плоских зразків товщиною 3,0 мм на мідній підкладці на розподіл залишкових деформацій при фіксованому зусиллі затиску впливає канавка ширина. При зменшенні від 8 до 6 мм кутова деформація зменшується від $1,04^\circ$ до $0,8^\circ$ в режимі з $q_p=383$ кДж/м за рахунок більш інтенсивної тепловіддачі підкладці. Для зразків товщиною 1,5 і 2,0 мм в режимах з $q_p=156$ кДж/м і 234 кДж/м (максимальна введена лінійна енергія, отримана в результаті експериментів для цих товщин) відповідно, кутова деформація стикового зварного з'єднання при зміні ширини канавки від 8 до 6 мм практично не змінюється, оскільки для тонких листів із співвідношеннями ширини шва і ширина зворотного шва близька до одиниці, поперечні деформації приблизно однакові по висоті шва з'єднання.

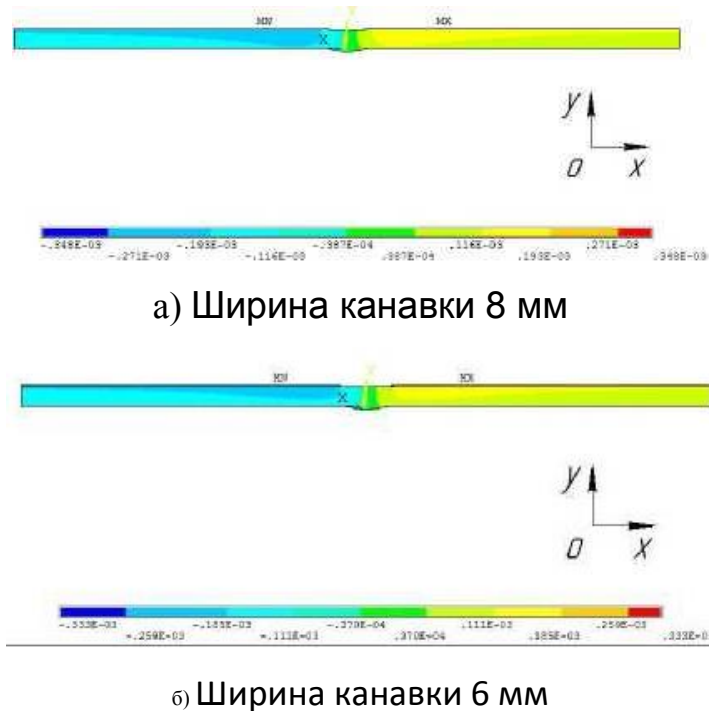
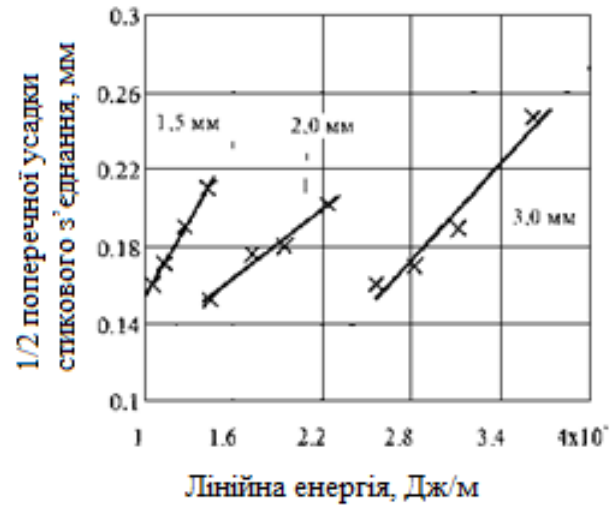


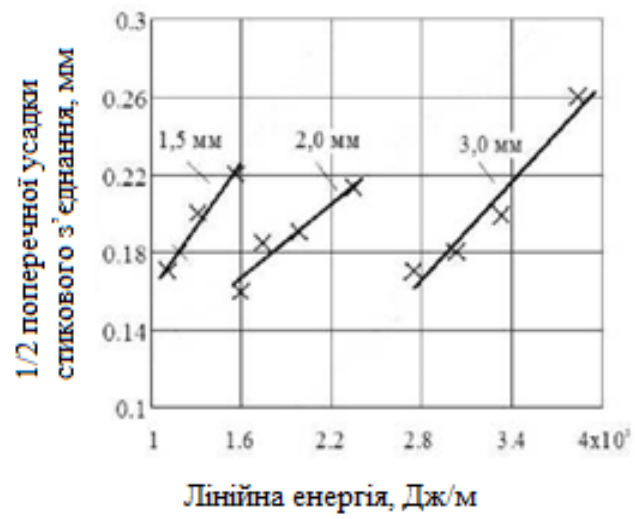
Рисунок 4.16 – Поперечна усадка $\Delta_{\text{поп}}$ стикового зварного з'єднання

Поперечна усадка при АДЗ плоских зразків товщиною 3,0 мм на підкладці з шириною канавки 6 мм в середньому на 8 % менша, ніж на підкладці з шириною канавки 8 мм. Ширина зони поперечної пластичної деформації за фон Мізесом на тильній стороні зварного шва в площині XOY при зварюванні на підкладку з шириною канавки 6 мм на 5,5% менше, ніж при зварюванні зразків товщиною 3,0 мм на підкладку з шириною канавки 8 мм при однакових умовах зварювання, що, очевидно, зумовлено більш інтенсивним теплообміном підкладки.

Отримані за результатами чисельного моделювання залежності значень поперечної та поздовжньої усадки від підведеної лінійної енергії при зварюванні мають яскраво виражений лінійний характер і наведені на рисунку 4.17, а, б – 1/2 поперечної усадки стикового з'єднання для режимів зварювання з $l_{\text{мп}}=2$ мм і 3 мм відповідно; на рисунку 4.18, а, б – поздовжня усадка стикового з'єднання для режимів зварювання з $l_{\text{мп}}=2$ мм і 3 мм відповідно.

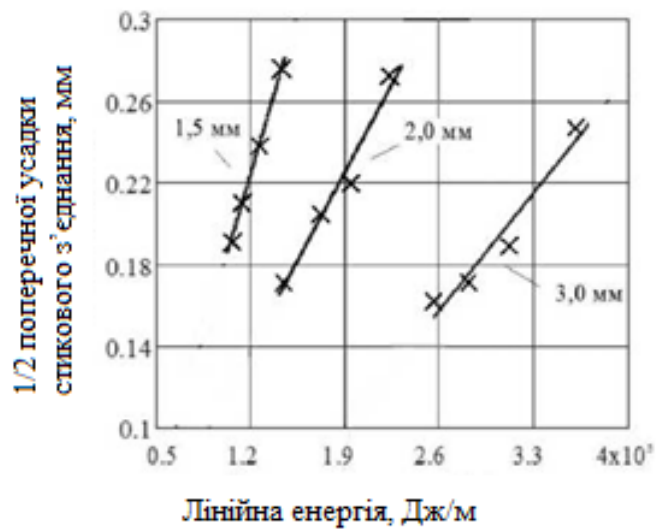


а)

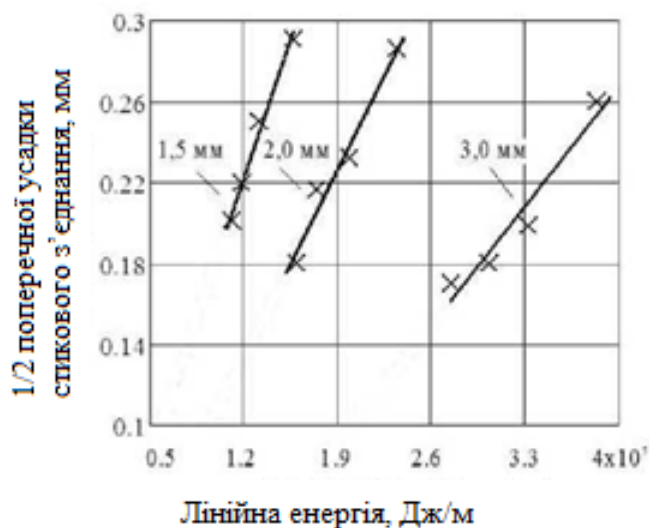


б)

Рисунок 4.17 – Залежність поперечної $\Delta_{\text{поп}}$ (а, б) усадки стикового з'єднання від введеної лінійної енергії



а)



б)

Рисунок 4.18 – Залежність позовжньої усадки $\Delta_{пз}$ (а, б) стикового з'єднання від введеної лінійної енергії

Використовуючи лінійну апроксимацію в пакеті MathCad методом найменших квадратів, отримано кількісні залежності значень загальної поперечної та позовжньої усадки стикового з'єднання від підведеної лінійної енергії при зварюванні, які наведені для досліджуваних товщин матеріалу у таблиці 4.3.

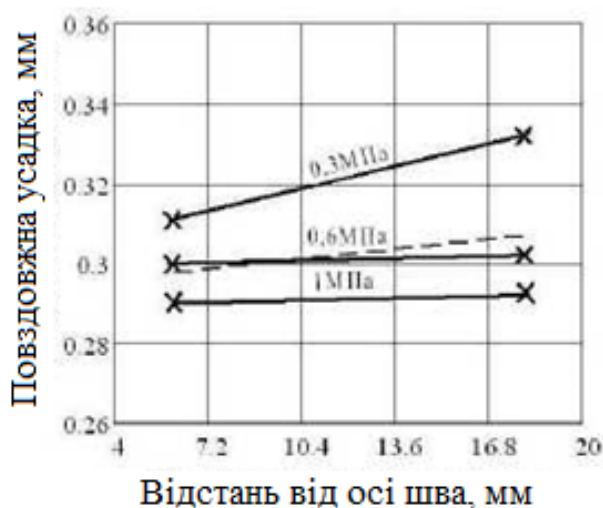
Таблиця 4.3 – Кількісний зв'язок між поперечною та позовжньою усадкою стикового з'єднання та підведеною лінійною енергією під час зварювання

Товщина металу,	Поперечна усадка $\Delta_{\text{поп}}$, мм		Поздовжня усадка $\Delta_{\text{пз}}$, мм	
	$l_{\text{т.пл}}=2$ мм	$l_{\text{т.пл}}=3$ мм	$l_{\text{т.пл}}=2$ мм	$l_{\text{т.пл}}=3$ мм
1.5	$0,068 \pm 5,991$	$0,065 \pm 6,341 \cdot 10^{-7}$	$-9,169 \cdot 10^{-3} \pm$	$-0,026 \pm 1,327$
2.0	$-0,063 \pm 8,404$	$-0,07 \pm 8,425 \cdot 10^{-7}$	$-0,056 \pm 8,218 \cdot 10^{-7}$	$-0,07 \pm$
3.0	$-0,019 \pm$	$-1,101 \pm 10^{-6}$	$-0,045 \pm$	$-0,014 \pm 1,964$

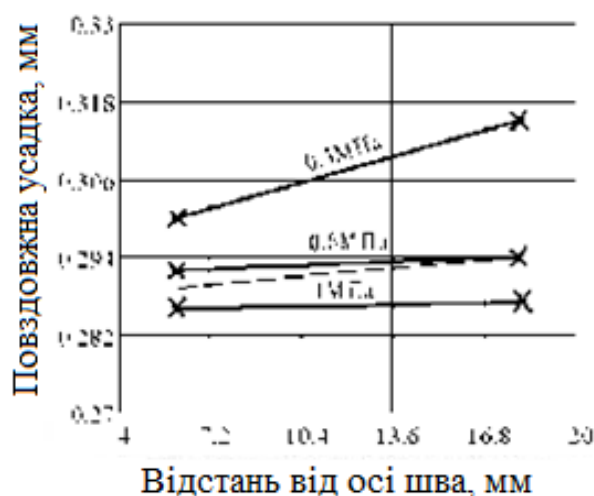
Для врахування впливу на позовжню усадку розташування затискачів відносно осі зварного шва та тиску їх притискання проведено перевірку

адекватності в області застосування чисельної термдеформаційної моделі для АДЗ з тиском затиску 0,3 і 1 МПа, що забезпечує відсутність ковзання зразків при зварюванні та їх охолодження в пристосуванні. На рисунку 4.19 наведено лінійну залежність позовжньої усадки стикового зварного з'єднання від відстані від осі шва затискачів при різних тисках на зразки, отриману в результаті обробки даних чисельного моделювання в пакеті MathCad: суцільна лінія наведено результати чисельного моделювання, пунктиром – дані результатів 3 експериментів при тиску затиску 0,6 МПа на відстані 6 і 18 мм від осей шва відповідно.

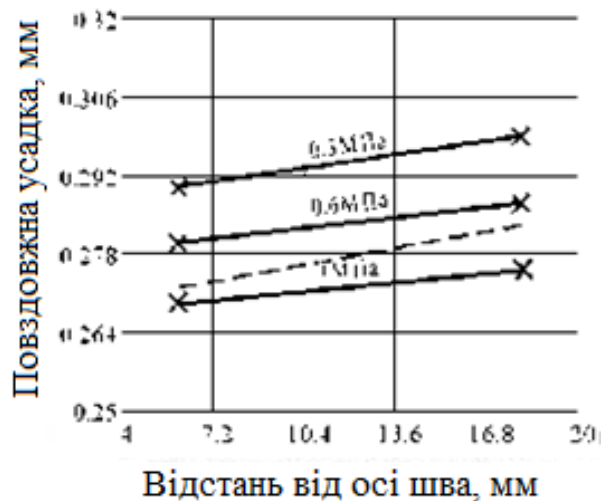
З аналізу рисунка 4.19, а і б видно, що тиск затиску на зварений зразок, що забезпечує відсутність позовжнього ковзання зразка товщиною 1,5 і 2,0 мм, за результатами чисельного моделювання становить 0,6 МПа, що підтверджується експериментальними даними з похибкою не більше 9,3%.



а)



б)



в)

Рисунок 4.19 – Зміна поздовжньої усадки стикового з'єднання в залежності від розташування затискачів і тиску на зразках товщиною 1,5 мм (а); 2,0 мм (б) і 3,0 мм (в)

На рисунку 4.19, в добре видно зміну поздовжньої усадки в залежності від розташування затискачів від осі шва, при цьому прикладений тиск навіть на рівні 1 МПа є недостатнім для фіксації і не гарантує відсутність ковзання зварений зразок товщиною 3,0 мм.

РОЗДІЛ 5.

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Заходи, що забезпечують безпечні умови праці при зварюванні в захисних газах

Забезпечення безпечних умов праці під час здійснення зварювальних робіт в захисних газах вимагає використання електричних пристроїв, а також взаємодії з горючими та вибухонебезпечними газами, що випромінюють електричні дуги та плазму, спрямовані на інтенсивне розплавлення і випаровування металу і тому подібне. Це створює потребу в заходах безпеки та захисту працівників від можливого виробничого травматизму.

Серед можливих видів виробничого травматизму при електрозварювальних роботах можуть виникнути такі проблеми, як ураження електричним струмом, ураження зору та відкритої поверхні шкіри променями електричної дуги, опіки від крапель металу та шлаків, а також отруєння організму шкідливими газами, пилом і випарами, що виділяються під час зварювання. Затримання місць, поранення та ураження від вибухів балонів стисненого газу під час зварювання посудин із горючих речовин можуть також стати потенційними небезпеками.

Для забезпечення умов, які запобігають зазначеним видам травматизму, рекомендується вживати наступні заходи. З метою уникнення ураження електричним струмом слід дотримуватися конкретних вимог. Корпуси джерел живлення дуги та зварювального допоміжного обладнання повинні бути надійно заземлені. Заземлення слід проводити за допомогою мідного провідника, один кінець якого кріпиться до корпусу джерела живлення дуги за допомогою спеціального болта із написом "Земля", а інший кінець приєднується до заземлювальної шини чи металевого штиря, який вбивається в землю.

Заземлення пересувних джерел живлення слід проводити до їхнього підключення до мережі живлення, а зняття заземлення може відбуватися тільки після відключення від мережі живлення.

Під час виконання зовнішніх робіт із зварювання необхідно забезпечити належні умови, такі як наявність навісу, намету або будки для захисту від дощу та

снігу. У випадку неможливості дотримання цих умов, зварювальні роботи не проводяться, а зварювальну апаратуру обов'язково укривають, щоб уникнути впливу вологи.

Персонал, що має відповідальність за електрозварювальне устаткування, повинен відповідально приєднувати та від'єднувати його від мережі, а також систематично слідкувати за його справним станом під час експлуатації. Зварникам категорично заборонено виконувати ці операції.

Всі зварювальні проводи повинні мати надійну ізоляцію, яка відповідає струмам, що застосовуються. Використання проводів із старою або розпатляною ізоляцією абсолютно заборонено.

З метою захисту зору та шкіри від світлових і невидимих променів дуги електрозварники та їх асистенти повинні користуватися щитками, масками або шоломами, в основні отвори яких вставлені спеціальні скла - світлофільтри. Вибір світлофільтра залежить від зварювального струму та характеру зварювальних робіт.

В стаціонарних цехах для запобігання впливу випромінювань встановлюють закриті зварювальні кабінки, а при будівельних та монтажних роботах використовують переносні щити або ширми.

При використанні балонів із стиснутим газом слід дотримуватись установлених заходів безпеки, таких як уникання кидання балонів та їх розташування подалі від нагрівальних пристроїв. Балони має зберігатись у вертикальному положенні.

У процесі зварювання та оббивці шлаків необхідно пам'ятати, що краплі розплавленого металу та шлаків можуть потрапити в складки одягу, кишені та черевики, спричиняючи опіки та пропали одягу. Зварникам рекомендується працювати в спецодязі із брезенту або щільного сукна, у рукавицях та головному уборі. При зварюванні швів у вертикальних, горизонтальних та стельових площинах слід надягати брезентові нарукавники і щільно зав'язувати їх поверх рукавів у кисті рук. Шви слід зачищати лише після повного остигання та обов'язково в окулярах із простим склом.

Зварювання електродами з якісним покриттям може призводити до особливого забруднення повітря пилом та газами. Склад пилу та газів залежить

від вмісту покриття та складу зварюваного металу та електроду. При автоматичному зварюванні кількість газів та пилу значно менша, ніж при ручному зварюванні.

5.2 Загально-обмінна штучна вентиляція при зварюванні в середовищі захисних газів

Усунення шкідливих газів та пилу з зони зварювання та подача чистого повітря забезпечується за допомогою місцевої та загальної вентиляції. При облаштуванні зварювальних кабін обов'язково передбачається місцева витяжна система з верхнім, бічним або нижнім відсмоктувачем, яка ефективно видаляє гази та пил безпосередньо з зони зварювання. Загальна вентиляційна система повинна працювати у витяжному режимі, виводячи забруднене повітря з робочих приміщень та забезпечуючи подачу свіжого повітря. У холодний період року повітря підігрівається до температури 20...22°C за допомогою спеціального нагрівача-калорифера.

У процесі зварювання у закритих приміщеннях та замкнутих конструкціях важливо забезпечити надходження свіжого повітря під невеликим тиском через спеціальний шланг безпосередньо в робочу зону зварника. Мінімальний об'єм свіжого повітря повинен становити не менше 30 м³/м. Відсутність вентиляції під час зварювання в закритих приміщеннях та конструкціях є неприпустимою. Вентиляційне обладнання має забезпечити ефективний повітрообмін під час ручного електродугового зварювання з електродами із якісними покриттями у розрахунку 4000...6000 м³ на 1 кг витрати електродів; для автоматичного зварювання під флюсом — приблизно 200 м³ на 1 кг дроту; у випадку зварювання у вуглекислому газі — до 1000 м³ на 1 кг дроту.

Система загально-обмінної вентиляції при зварюванні в атмосфері вуглекислого газу призначена для створення необхідних умов мікроклімату та підтримання чистоти повітря в усьому робочому просторі приміщення. Вона ефективно видаляє зайве тепло в умовах відсутності токсичних викидів, а також у випадках, коли технологічний процес та особливості виробничого обладнання виключають можливість використання місцевої системи витяжної вентиляції.

Розглядаючи чотири основні схеми організації повітрообміну при загально-обмінній вентиляції, можна виділити важливі аспекти, що визначають ефективність цих схем.

Схеми "зверху-вниз" та "зверху-вверх" є доцільними у випадку, коли припливне повітря в холодну пору року має температуру нижчу, ніж температура в приміщенні. У цих випадках припливне повітря, перш ніж досягти робочої зони, нагрівається за рахунок тепла повітря у приміщенні.

Схеми "знизу-вверх" та "знизу-вниз" рекомендуються, коли припливне повітря в холодну пору року попередньо підігрівається, і його температура вища, ніж температура в приміщенні.

В разі виокремлення газів та парів з густиною, що перевищує густину повітря, загально-обмінна вентиляція повинна забезпечити видалення 60% повітря з нижньої зони приміщення та 40% з верхньої, забезпечуючи ефективно усунення забрудненого повітря. У випадках, коли густина газів менша за густину повітря, видалення забрудненого повітря здійснюється у верхній зоні.

5.3 Протипожежні заходи на виробничій ділянці

У зварювальних цехах, на будівельно-монтажних площадках, на зварювальних і наплавочних ділянках необхідно суворо виконувати наступні правила, що запобігають можливості виникнення пожежі від іскор, що розлітаються і бризок розплавленого металу:

Робоче місце зварника повинне бути цілком очищене від легкозаймистих або вибухонебезпечних матеріалів. Легкозаймисті рідини і різні горючі матеріали повинні знаходитись від місця зварювання на відстані не менш 30 м., ацетиленові генератори і балони з горючими газами – на відстані не менш 10 м.

У місцях виконання зварювальних робіт захист від іскор, що розлітаються, і бризок металу повинна забезпечуватися металевими або брезентовими ширмами, на ділянках зварювання повинні бути вогнегасники, шухляди з піском, бочки з водою, різний пожежний інвентар, обов'язково телефонний зв'язок і пристрої для звукових сигналів.

Усі робітники та службовці при надходженні на роботу або при зміні робочих місць повинні бути проінструктовані з протипожежної безпеки і по прийнятому на підприємстві протипожежному режимі. На великих ділянках і в цехах повинні бути офіційно назначені відповідальні за стан протипожежних засобів і виконання протипожежного режиму роботи.

Обов'язково два рази в тиждень перевіряти стан зварювального обладнання.

При гасінні пожежі, що виникла в результаті витті загорання рідин (бензину, гасу, рідких мастильних матеріалів), не можна користуватися водою або рідко-пінним вогнегасниками, необхідні пісок або спеціальні густо-пінні вогнегасники. Відповідальність за протипожежний стан окремих цехів, майстерень, складів і інших об'єктів, а також за своєчасне виконання протипожежних заходів на них покладається персонально на начальників цехів, майстерень, складів і т. д. Тому з усіх питань, зв'язаних із уживанням заходів протипожежної безпеки, необхідно звертатися насамперед до зазначених керівників. При аваріях зварювані роботи допускається робити під спостереженням начальника цеху без письмового дозволу. Після закінчення вогневих робіт зварник зобов'язаний ретельно оглянути місце проведення цих робіт, полити водою легкозаймисті конструкції й усунути порушення, що можуть привести до виникнення пожежі. У даний час існують загальні правила й інструкції про пожежну безпеку для найбільш розповсюджених виробництв усіх міністерств і відомств. Вимоги по пожежній безпеці для різних виробництв у відповідні правила техніки безпеки і виробничої санітарії при електрозварювальних роботах для цих виробництв.

5.4 Стійкість роботи підприємства в надзвичайних ситуаціях

Цивільна оборона є складовою частиною соціальних та захисних заходів, які проводяться в мирний і воєнний час з метою захисту населення і народного господарства від наслідків аварій, катастроф, стихійного лиха і сучасних засобів ураження.

Цивільна оборона України організовується за територіально-виробничим принципом на всій території і являє собою сукупність структур державного управління, підприємств, організацій і спеціально створених органів керівництва

та сил цивільної оборони. Заходи цивільної оборони проводяться на всій території держави, як правило, з врахуванням особливостей кожного району.

Кабінет Міністрів України постійно приділяє увагу розвитку цивільної оборони, підвищенню її ролі у захисті населення, підвищенню її значення, визначає основні принципи її побудови, характер і обсяг завдань, що вирішуються.

Територіальний принцип полягає в організації цивільної оборони на території областей, міст і районів, сільських місцевостей відповідно до адміністративного поділу території. Згідно з цим, відповідальність за стан цивільної оборони на цих територіях несуть виконавчі органи влади, а начальниками цивільної оборони, які безпосередньо здійснюють керівництво цивільною обороною є голови виконавчих органів влади.

Виробничий принцип полягає в організації цивільної оборони в кожній установі, підприємстві.

На цивільну оборону підприємства покладені такі основні обов'язки:

- оповіщення працівників та членів їх сімей при загрозі нападу, стихійного лиха і катастроф;
- забезпечення сховищами працюючої зміни, підтримка в сані постійної готовності захисних споруд і спеціальних споруд ЦО;
- проведення заходів, що забезпечують стійкість роботи об'єкту в мирний та воєнний час;
- створення, підготовка і підтримка в постійній готовності сил ЦО об'єкту.

Сучасний типовий комплекс промислового підприємства складають споруди і будівлі, в яких розміщуються виробничі цехи, верстатне і технологічне обладнання, будівлі енергетичного господарства, системи енергопостачання, інженерні і паливні комунікації, окремо розташовані технологічні установки, мережа внутрішнього транспорту, системи зв'язку і управління, складське господарство, різноманітні будівлі і споруди адміністративного, побутового і господарського призначення.

Принципами стійкості роботи промислового підприємства в надзвичайних ситуаціях є єдина нормативна і директивна база, яка включає:

- Конституцію України;
- Закон про цивільну оборону України;
- положення по цивільній обороні;
- нормативні документи по стійкості роботи об'єктів;
- директиви начальника штабу цивільної оборони України.

Під стійкістю роботи промислового підприємства розуміють їх можливість в умовах надзвичайних ситуацій мирного і воєнного часу виробляти продукцію в запланованому обсязі і номенклатурі, а при слабких пошкодженнях відновлювати виробництво в мінімальні терміни.

Стійкість роботи промислового підприємства складається із:

- 1) стійкості інженерно-технічного комплексу до дій зовнішніх факторів при аваріях, катастрофах, стихійному лихові, а також при застосуванні щодо них сучасної зброї;
- 2) стійкості виробничої діяльності.

Під стійкістю роботи об'єктів, які не виробляють матеріальних цінностей, розуміють їх можливість виконувати свої функції в умовах надзвичайних ситуацій.

Фактори, від яких залежить стійкість роботи об'єктів в надзвичайних ситуаціях мирного і воєнного часу:

- 1) надійність захисту робітників і службовців;
- 2) безпечність розташування об'єкту відносно зон можливих зруйнувань;
- 3) можливість інженерно-технічного комплексу протистояти ударній хвилі будь-якого вибуху і уражаючим діям ядерної зброї;
- 4) безперервність постачання електроенергією, паливом, сировиною, газом і всім необхідним для випуску продукції;
- 5) надійність керування виробництвом, силами і засобами цивільної оборони;
- 6) підготовленість підприємства до поновлення виробництва і проведення рятувальних і інших невідкладних робіт.

Основними документами для організації дослідження стійкості роботи об'єкту є: наказ керівника підприємства; календарний план основних заходів по підготовці та проведенню дослідження; план проведення досліджень.

ВИСНОВКИ

В результаті проведеної роботи проведено аналіз існуючого та запропоновано розроблений вдосконалений процес виготовлення виробу, який забезпечує вищу якість, вищу швидкість виготовлення виробу, що в свою чергу дає змогу планувати запуск виготовлення нержавіючого резервуару для питної води в серійне виробництво.\

У результаті чисельного моделювання напружено-деформованого стану стикового зварного з'єднання встановлено, що під час АДЗ плоских зразків товщиною 3,0 мм на мідній підкладці на розподіл залишкових деформацій при фіксованому зусиллі затиску впливає ширина канавки. При зменшенні від 8 до 6 мм кутова деформація зменшується від $1,04^\circ$ до $0,8^\circ$ в режимі з $q_p=383$ кДж/м за рахунок більш інтенсивної тепловіддачі підкладці. Для зразків товщиною 1,5 і 2,0 мм в режимах з $q_p=156$ кДж/м і 234 кДж/м (максимальна введена лінійна енергія, отримана в результаті експериментів для цих товщин) відповідно, кутова деформація стикового зварного з'єднання при зміні ширини канавки від 8 до 6 мм практично не змінюється, оскільки для тонких листів із співвідношеннями ширини шва і ширина зворотного шва близька до одиниці, поперечні деформації приблизно однакові по висоті шва.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Малиновський В.І., Пасічник А.Є. Процес електродугового зварювання рамних конструкцій: тези доп. XII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» 7-8 грудня 2023 р. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2023. С. 115 – 116.
2. Кривов Г.О., Зворикін К.О. Виробництво зварних конструкцій : підручник для студентів вищих навчальних закладів. К.: КВІЦ, 2012. 896 с.
3. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением : під ред. академіка Б. Є. Патона. К.: Машинобудування, 1974. 767 с.
4. Костін О.М. Зварювальні матеріали: навч. посібник. Миколаїв : НУК, 2004. 225 с.
5. ДСТУ 8713-79 Зварювання під флюсом. З'єднання зварні основні типи, конструктивні елементи і розміри.
6. ДСТУ 14771-76 Дугове зварювання в захисних газах. З'єднання зварні основні типи, конструктивні елементи і розміри.
7. Александров О.Г., Антонюк Д.А., Капустян О.Є. Джерела живлення для дугового зварювання та наплавлення : навч. посібник. Львів : Новий світ, 2013. 224 с.
8. Биковський О.Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій : підручник. К.: Основа, 2021. 400 с.
9. Левченко О.Г. Охорона праці у зварювальному виробництві. Навчальний посібник. К.: Основа, 2010. 240 с.
10. Барановський В.М. Конспект лекцій з дисципліни «Складально-зварювальне оснащення». Вид. Тернопільського нац. технічного університету. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2015. 254 с.
11. Барановський В.М. Конспект лекцій з дисципліни «Проектування технологічних процесів зварювального виробництва». Вид. Тернопільського національного технічного ун-ту. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2015. 58 с.
12. Барановський В.М., Сенчишин В.С. Конспект лекцій з дисципліни «Виробництво зварних конструкцій». Вид. Тернопільського національного

технічного університету. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2015. 66 с.

13. Барановський В.М., Підгурський М.І., Сенчишин В.С. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Проектування технологічних процесів зварювального виробництва» для студентів денної та заочної форми навчання для підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня «Спеціаліст» і «Магістр» зі спеціальності 7.05050401, 8.05050401 «Технологія та устаткування зварювання». Вид. Тернопільського національного технічного університету. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2015. 54 с.

14. Барановський В.М., Підгурський М.І., Мариненко С.Ю. Конспект лекцій з дисципліни «Безпека життєдіяльності для студентів всіх спеціальностей і форм навчання. Вид. Тернопільського національного технічного університету. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2015. 141 с./67 с.

15. Барановський В.М., Пулька Ч.В., Сенчишин В.С. Конспект лекцій з дисципліни «Основи наукових досліджень» для студентів спеціальності 8.05050401 – «Технологія та устаткування зварювання». Вид. Тернопільського національного технічного університету. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2015. 86 с.

16. Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник / Під ред. Я.Г. Бедрія. Львів, 1997. 275с.

17. Жидецький В. Ц., Джиги рей В. С., Мельников О. В. Основи охорони праці : підручник (видавн. 5-те, доповнене). Л.: Афіша, 2000. 350 с.

ДОДАТКИ