

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(освітній рівень)

на тему: Вдосконалення технологічного процесу виготовлення
корпусу скрубера для очистки газів

Виконав: студент (ка) 4 курсу, групи МП

Спеціальності “Прикладна механіка” 131

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Бочкарьов Д.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Лазарюк В.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Дячун А.Є.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент
(підпис) (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
Кафедра інжинірингу машинобудівних технологій

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТ
доц., к.т.н. Окіпний І.Б.

«___» _____ 2026__ р.

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 131 “Прикладна механіка”
(шифр і назва спеціальності)
студенту Бочкарьову Дмитру Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Вдосконалення технологічного процесу виготовлення корпусу скрубера для
очистки газів

Керівник проекту (роботи) Лазарюк Валерій Володимирович, доцент, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом по університету від «21» січня 2025 року № 4/9-26

2. Термін подання студентом проекту (роботи) 24 червня 2026 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) технічні умови на виготовлення;
річна програма випуску – 1000 шт.; базовий технологічний процес виготовлення виробу

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ. Аналітична частина. Технологічна частина. Конструкторська частина. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці. Висновки. Перелік посилань. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Роликовий обертач. Притискач гідравлічний. Стенд для зварювання кільцевих швів. Технологічний процес виготовлення скрубера. Складальне оснащення

7. Дата видачі завдання «23» _січня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Лазарюк В.В.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему: «Вдосконалення технологічного процесу виготовлення корпусу скрубера для очистки газів» включає 4 частини пояснювальної записки з об'ємом 73 аркуша формату А4 та графічної частини об'єму 6 аркушів із формату А1. Пояснювальна записка містить, зокрема такі частини, як аналітична, технологічна, конструкторська та з безпеки життєдіяльності та з основи охорони праці. Мета даної кваліфікаційної роботи бакалавра є покращити якість формування зварного шва, забезпечити високу повторюваність результатів зварювання корпусу скрубера для очистки газів.

Пояснювальна записка містить 17 рисунків, 9 таблиць, 6 сторінок додатків. У роботі використано 29 літературних джерел.

У даній роботі удосконалено технологію зварювання корпусу скрубера для очистки газів, обґрунтовано спосіб зварювання, зварювальні матеріали; підібрано захисну газову суміш, розраховано режими зварювання для таврових та стикових з'єднань, розраховано порталний візок та роликовий обертач, підібрано інноваційне зварювальне устаткування та оснащення для підготовчих та зварювальних операцій, покращено безпеку життєдіяльності і охорону праці для технологічного процесу.

Ключові слова: КОРПУС СКРУБЕРА ДЛЯ ОЧИСТКИ ГАЗІВ, МЕХАНІЗОВАНЕ ЗВАРЮВАННЯ, ГАЗОВА СУМІШ $\text{Ar}+\text{CO}_2$, СКЛАДАННЯ, ОХОРОНА ПРАЦІ.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Опис конструкції зварного виробу.	9
1.2 Характеристика матеріалу зварного виробу	10
1.3 Технічні умови на виготовлення зварного виробу	12
1.3.1 Вимоги до матеріалів виробу та напівфабрикатів	13
1.3.2 Вимоги до шорсткості, геометричності форми та розмірів	14
1.3.3 Вимоги до зварних з'єднань виробу	18
1.3.4 Вимоги до складання виробу	22
1.3.5 Вимоги до якості виробу	24
1.4 Аналіз базового технологічного процесу	25
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	27
2.1 Вибір та обґрунтування способу зварювання	27
2.2 Вибір зварювальних матеріалів	31
2.3 Розрахунок зварювальних режимів	33
2.4 Вибір і обґрунтування зварювального устаткування	38
2.5 Вибір методу контролю якості	46
2.6 Опис вибраного технологічного процесу виготовлення виробу	48
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	51
3.1 Розрахунок зварювального візка	51
3.2 Розрахунок роликового обертача	56
4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	62
4.1 Дія електромагнітного випромінювання на організм людини	62
4.2 Шляхи забезпечення працездатності і підвищення продуктивності праці	64
4.2 Заходи дотримання правил електробезпеки при експлуатації обладнання	66
ВИСНОВКИ	69

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

70

ДОДАТКИ

74

ВСТУП

Виготовлення корпусних деталей обладнання нафтогазової галузі належить до відповідального напрямку сучасного машинобудування, яке виготовляє вироби тривалої експлуатації. Скрубери, і, фільтри, ресивери, ємності та інші апарати працюють під внутрішнім тиском, тому до їх міцності, герметичності та надійності висуваються підвищені вимоги. Основним способом отримання нерознімних з'єднань таких конструкцій є зварювання, яке забезпечує високу міцність виробів, раціональне використання металу та можливість виготовлення великогабаритного обладнання складної форми.

Сучасний розвиток нафтогазового машинобудування характеризується постійним підвищенням вимог до якості зварних з'єднань, продуктивності праці та рівня автоматизації виробництва. Однією з актуальних тенденцій є впровадження автоматизованих способів зварювання, які дозволяють зменшити вплив людського фактора на формування шва, забезпечити стабільність технологічних параметрів та підвищити повторюваність результатів. Особливого значення набуває застосування сучасних цифрових джерел живлення з функціями керованого масоперенесення електродного металу, які забезпечують стабілізацію процесу горіння дуги, зменшення розбризкування металу, покращення формування шва та зниження ймовірності виникнення дефектів.

Додатковими напрямками підвищення ефективності виробництва є використання роликів обертачів для позиціонування обичайок, автоматизованих систем переміщення зварювального інструменту, цифрового контролю параметрів зварювання та застосування сучасних методів неруйнівного контролю. Комплексне впровадження зазначених рішень забезпечує скорочення трудомісткості виготовлення виробів, підвищення продуктивності праці, зменшення витрат на виправлення дефектів та покращення експлуатаційної надійності обладнання. Результатом роботи є комплект документації, необхідної для впровадження розробленого технологічного процесу у виробництво.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Опис конструкції зварного виробу

Скрубер може використовуватися у газорозподільчих мережах середнього тиску та високого тиску II категорії для очищення технічного газу від крапельної рідини та конденсату. Робочий тиск апарата — до 1,0 МПа, що забезпечує запас відносно мереж середнього тиску до 0,3 МПа та високого тиску II категорії до 0,6 МПа. Очищення технічного газу від крапельної рідини, конденсату та механічних домішок відбувається шляхом інерційного осадження та проходження газового потоку через сітчастий краплевловлювач. Відокремлена рідина накопичується в нижній частині корпусу та відводиться через дренажні патрубки, а очищений газ подається до споживача або наступного технологічного обладнання.

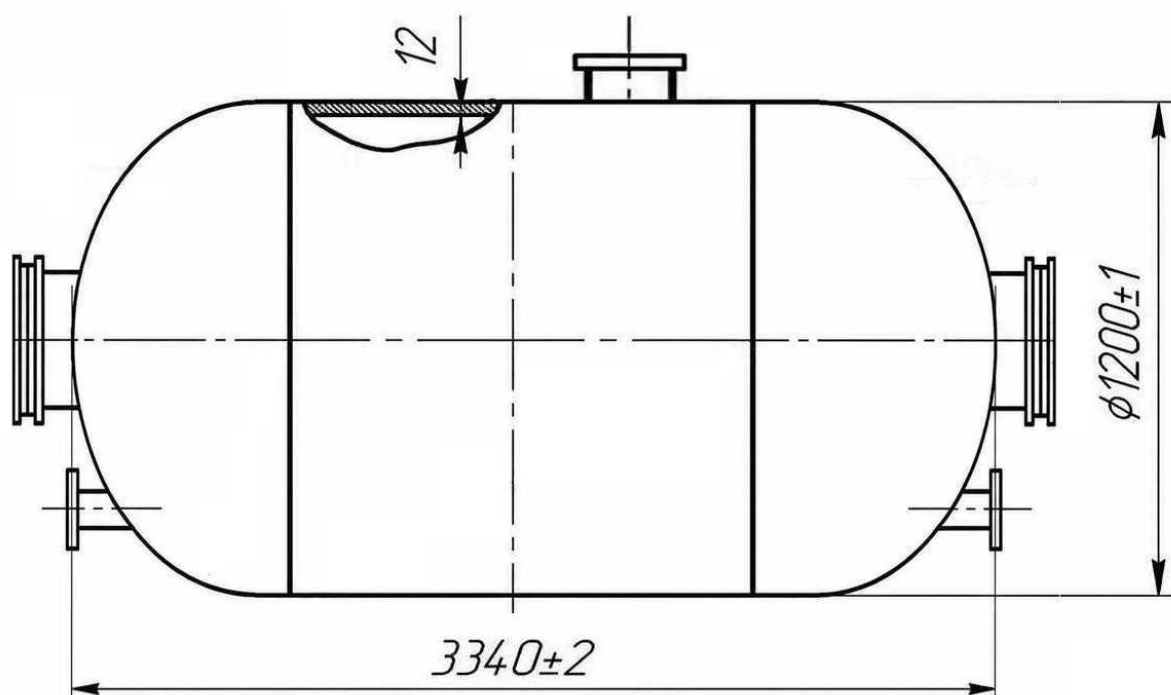


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд скрубера для очищення газу

Скрубер являє собою горизонтальний циліндричний зварний апарат з еліптичними днищами, виготовлений зі сталі 09Г2С та призначений для роботи під надлишковим тиском до 1,0 МПа.

Корпус апарата складається з циліндричної обичайки діаметром 1200 мм та двох еліптичних днищ довжиною 3340 мм. Для підключення до трубопроводів, встановлення контрольно-вимірювальних приладів, запобіжної арматури, дренажу та проведення технічного обслуговування передбачені відповідні штуцери та люки. Конструкція забезпечує надійну експлуатацію обладнання, зменшує ризик корозії трубопроводів і підвищує якість підготовки газу до подальшого транспортування або використання.

До виготовлення посудин високого тиску висувають високі вимоги. Технологічні процеси, методи випробувань і неруйнівного контролю повинні забезпечувати високу якість виготовлення і безпечну експлуатацію посудин.

1.3 Характеристика матеріалу зварного виробу

Для виготовлення скрубера пропонується застосувати низьколеговану конструкційну сталь 09Г2С. Дана сталь широко використовується для виготовлення зварних металоконструкцій, резервуарів, трубопроводів, посудин та апаратів, що працюють під тиском, а також обладнання для експлуатації в умовах знижених температур. Сталь 09Г2С характеризується хорошою зварюваністю, достатньою міцністю та високою ударною в'язкістю, що забезпечує надійність конструкцій при статичних і динамічних навантаженнях.

Основними легуючими елементами сталі 09Г2С є марганець і кремній. Вміст вуглецю не перевищує 0,12 %, що забезпечує добру технологічність та низьку схильність до утворення гартівних структур у зоні термічного впливу під час зварювання. Підвищений вміст марганцю сприяє збільшенню міцності та покращенню низькотемпературної в'язкості металу.

Механічні властивості сталі 09Г2С забезпечують її використання для відповідальних зварних конструкцій. Для листового прокату нормованого стану межа текучості становить не менше 345 МПа, а тимчасовий опір розриву знаходиться в межах 490–640 МПа.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі 09Г2С, %, [1]

Елемент	Вміст, %
C	$\leq 0,12$
<u>Si</u>	0,50–0,80
<u>Mn</u>	1,30–1,70
P	$\leq 0,035$
S	$\leq 0,040$
<u>Cr</u>	$\leq 0,30$
<u>Ni</u>	$\leq 0,30$
<u>Cu</u>	$\leq 0,30$
<u>As</u>	$\leq 0,08$

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі 09Г2С, [1]

Властивість	Значення
Межа текучості <u>ReH</u> , МПа	≥ 345
Тимчасовий опір <u>Rm</u> , МПа	490–640
Відносне подовження A5, %	≥ 21
Ударна в'язкість KCV при $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$	≥ 34 <u>Дж/см²</u>

Важливою перевагою сталі 09Г2С є її добра зварюваність без обов'язкового попереднього підігріву при невеликих товщинах металу. Завдяки низькому вмісту вуглецю та помірному легуванню сталь має відносно невисокий еквівалент вуглецю, що знижує ризик утворення холодних тріщин у зварних з'єднаннях.

Еквівалент вуглецю визначається за формулою Міжнародного інституту зварювання (IIW):

$$C_E = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$$

Для максимально допустимого хімічного складу сталі 09Г2С:

$$C_E = 0,12 + 1,70/6 + (0,30 + 0 + 0)/5 + (0,30 + 0,30)/15$$

$$C_E = 0,12 + 0,283 + 0,060 + 0,040 = 0,503$$

Отримане значення відповідає верхній межі можливого еквіваленту вуглецю. На практиці для більшості плавок сталі 09Г2С еквівалент вуглецю становить близько 0,40–0,45. Це забезпечує добру зварюваність та дозволяє

виконувати зварювання без попереднього підігріву при товщині металу до 12 мм за умови дотримання технології зварювання та контролю хімічного складу металу. Завдяки поєднанню високої міцності, низькотемпературної в'язкості та доброї зварюваності сталь 09Г2С є доцільним матеріалом для виготовлення корпусу скрубера.

1.3 Технічні умови на виготовлення зварного виробу

Проектування та виготовлення скрубера для очищення технічного газу від крапельної рідини та конденсату повинні виконуватися відповідно до вимог чинного законодавства України у сфері промислової безпеки, технічного регулювання та експлуатації обладнання газорозподільних систем. Конструкція апарата повинна забезпечувати безпечну роботу під надлишковим тиском до 1,0 МПа, герметичність з'єднань, стійкість до дії природного газу та конденсату, а також можливість проведення технічного обслуговування і контролю протягом усього строку експлуатації.

Виготовлення виробу необхідно здійснювати відповідно до вимог нормативних документів [2–13], зокрема НПАОП 0.00-1.81-18, Технічного регламенту обладнання, що працює під тиском, ДСТУ EN 13445-2:2022, ДСТУ EN 13445-3:2022, ДСТУ EN 13445-4:2022, ДСТУ EN 13445-5:2022, ДСТУ EN ISO 15614-1:2019, ДСТУ EN ISO 9606-1:2018, ДСТУ EN ISO 5817:2022, ДСТУ EN ISO 17635:2018, ДСТУ EN ISO 2560:2022 та ДСТУ EN ISO 14341:2022, які встановлюють вимоги до матеріалів, проектування, виготовлення, контролю якості, випробувань, атестації технологій зварювання, кваліфікації зварників, оцінювання якості зварних з'єднань та застосування зварювальних матеріалів. Усі складові виробу повинні мати підтверджене походження, відповідати вимогам чинних стандартів, технічних умов виробника та супроводжуватися документами, що підтверджують їх якість і придатність до експлуатації.

1.3.1 Вимоги до матеріалів виробу та напівфабрикатів

Для виготовлення корпусу скрубера, патрубків, штуцерів, опор та інших навантажених елементів рекомендується застосовувати низьколеговану конструкційну сталь 09Г2С. Зазначена сталь характеризується підвищеною міцністю, доброю зварюваністю, достатньою пластичністю та високою ударною в'язкістю при знижених температурах, що забезпечує її широке використання під час виготовлення трубопроводів, резервуарів, сепараційного обладнання та інших об'єктів газотранспортної й газорозподільної інфраструктури.

Листовий прокат, трубні заготовки, фланці та інші напівфабрикати повинні відповідати вимогам чинних стандартів на металопродукцію, мати сертифікати якості та результати заводських випробувань. Не допускається використання матеріалів із тріщинами, розшаруваннями, механічними пошкодженнями, корозійними дефектами або невстановленим походженням. Перед передачею у виробництво метал підлягає входному контролю з перевіркою маркування, геометричних розмірів, стану поверхні та супровідної документації.

Сталь 09Г2С повинна забезпечувати нормативні механічні характеристики, зокрема межу текучості не менше 345 МПа, тимчасовий опір розриву 490–640 МПа, відносне подовження не менше 21 % та показники ударної в'язкості, що гарантують безпечну роботу обладнання в умовах змінних навантажень і можливих температурних коливань. Матеріал повинен мати стабільний хімічний склад та обмежений вміст шкідливих домішок, які можуть негативно впливати на працездатність зварних конструкцій.

Зварювальні матеріали необхідно підбирати відповідно до вимог ДСТУ EN ISO 2560 та ДСТУ EN ISO 14341 з урахуванням механічних властивостей основного металу. Метал шва повинен забезпечувати характеристики міцності та пластичності не нижчі за характеристики сталі 09Г2С. Зварювання виконується за атестованою технологією відповідно до вимог

ДСТУ EN ISO 15614-1 кваліфікованими зварниками, атестованими згідно з ДСТУ EN ISO 9606-1.

Після завершення виготовлення всі зварні з'єднання підлягають візуально-вимірному контролю, а найбільш відповідальні стики додатково перевіряються ультразвуковим або радіографічним методом. Якість виконаних швів повинна відповідати вимогам ДСТУ EN ISO 5817, а обсяг та порядок проведення неруйнівного контролю – вимогам ДСТУ EN ISO 17635.

1.3.2 Вимоги до шорсткості, точності геометричної форми та розмірних параметрів

До стану поверхонь, точності геометричних характеристик і дотримання розмірів складових елементів скрубера висуваються жорсткі технічні вимоги, оскільки саме ці показники безпосередньо впливають на міцність конструкції, герметичність апарата, рівномірність розподілу робочих напружень у корпусі, довговічність зварних з'єднань та загальну безпеку експлуатації обладнання, що працює під внутрішнім надлишковим тиском. Під час виготовлення та складання виробу необхідно забезпечити повну відповідність вимогам нормативних документів ДСТУ EN ISO 5817:2022, ДСТУ EN ISO 9692-1, ДСТУ EN ISO 6520-1 та ДСТУ EN 13445-4:2022, які регламентують якість зварних з'єднань, підготовку кромek, класифікацію дефектів та вимоги до виготовлення посудин, що працюють під тиском.

Під час складання стикових з'єднань обичайок особливого значення набуває правильна підготовка зварюваних крайок, забезпечення необхідної величини технологічного зазору між деталями та дотримання точності їх взаємного позиціонування. Для листового прокату товщиною 12 мм, який використовується при виготовленні корпусу скрубера, раціональним є застосування одnobічної V-подібної або двобічної X-подібної підготовки крайок, що забезпечує повноцінне проплавлення кореня шва по всій його товщині. Розмір монтажного зазору визначається технологічним процесом виготов-

лення та зазвичай становить від 1 до 3 мм залежно від способу зварювання, просторового положення шва, товщини металу та конструктивних особливостей стику. Надто малий зазор може стати причиною виникнення непроварів або несплавлень у кореневій частині шва, тоді як надмірний зазор сприяє збільшенню витрат присадкового металу, підвищує рівень залишкових деформацій та створює додаткові умови для утворення дефектів зварного з'єднання.

Для кутових і таврових з'єднань необхідно забезпечувати максимально щільне прилягання елементів, що з'єднуються між собою. Величина зазору між деталями не повинна перевищувати значень, передбачених технологічною документацією, оскільки його збільшення негативно впливає на умови формування шва, сприяє виникненню підвищених залишкових напружень та може погіршувати експлуатаційні характеристики конструкції. У разі виявлення відхилень від встановлених вимог перед початком зварювальних робіт необхідно виконати додаткову механічну обробку або припасування елементів для забезпечення належної якості складання.

Якість виконаних зварних з'єднань повинна відповідати рівням якості, визначеним вимогами ДСТУ EN ISO 5817:2022. Для апаратів газової промисловості, газорозподільних систем та посудин, що працюють під тиском, рекомендується застосовувати рівні якості В або С залежно від категорії відповідальності конструкції та умов її експлуатації. При цьому категорично не допускається наявність таких дефектів, як тріщини, непровари, несплавлення, пропали, наскрізні пори та інші пошкодження, здатні знизити герметичність або несучу здатність апарата. Величина підрізів, зміщення крайок, нерівномірність посилення шва, западини, місцеві перевищення висоти валика та інші геометричні відхилення повинні знаходитися в межах допусків, установлених чинними стандартами.

Важливою особливістю виготовлення обладнання для газової промисловості є необхідність забезпечення підвищеної герметичності всіх нерозні-

мних з'єднань. Саме тому після завершення зварювальних робіт стикові шви корпусу підлягають обов'язковому візуально-вимірювальному контролю. За необхідності додатково виконуються ультразвуковий, радіографічний або інші методи неруйнівного контролю. Особлива увага приділяється перевірці якості кореня шва, зон термічного впливу, місць перетину швів, а також ділянок приварювання штуцерів, патрубків та інших елементів до корпусу апарата. Для обладнання, що експлуатується в умовах дії тиску та циклічних навантажень, контроль цих зон має вирішальне значення для забезпечення надійності та тривалого ресурсу роботи.

Поверхні основного металу та зварних швів повинні бути ретельно очищені від шлакових включень, бризок металу, окалини, мастильних матеріалів, продуктів корозії, пилу та інших забруднень, здатних негативно вплинути на подальшу експлуатацію обладнання. Після завершення механічної обробки не допускається наявність різких переходів між металом шва та основним металом конструкції, оскільки такі ділянки можуть виконувати роль концентраторів напружень і сприяти зародженню втомних тріщин під час роботи апарата. За необхідності виконується додаткове зачищення поверхні швів із формуванням плавного переходу до основного металу та усуненням локальних нерівностей.

Шорсткість поверхонь елементів корпусу повинна відповідати вимогам технологічної документації та забезпечувати належні умови експлуатації апарата. Для поверхонь після механічної обробки значення параметрів шорсткості встановлюються залежно від функціонального призначення елемента. Особливої уваги потребують місця встановлення ущільнень, приварювання патрубків, фланцевих з'єднань та поверхні, які контактують із робочим середовищем. Надмірна шорсткість може сприяти накопиченню корозійно-активних відкладень, утворенню локальних зон турбулентності та прискореному зношуванню обладнання.

За основу контролю геометричних параметрів корпусу приймаються вимоги ДСТУ EN 13445-4:2022, конструкторської документації, технічних умов та робочих креслень. До циліндричних обичайок скрубера висуваються підвищені вимоги щодо точності геометричної форми, оскільки навіть незначні відхилення можуть призводити до нерівномірного розподілу напружень під дією внутрішнього тиску, погіршувати умови монтажу внутрішніх сепараційних пристроїв та знижувати експлуатаційну надійність апарата.

Відхилення внутрішнього або зовнішнього діаметра обичайки допускається в межах $\pm 1\%$ від номінального розміру, але не більше ± 5 мм для виробів значного діаметра. Одночасно необхідно забезпечити відсутність значних місцевих деформацій, викривлень та овальності. Різниця між максимальним і мінімальним діаметрами, визначеними в одному поперечному перерізі обичайки, не повинна перевищувати 1% від її номінального діаметра. Дотримання цих вимог є необхідною умовою забезпечення рівномірного розподілу навантажень по всій поверхні корпусу.

Відхилення від прямолінійності твірної циліндричної поверхні допускається не більше ніж 2 мм на кожний метр довжини обичайки. Для поздовжніх і кільцевих стикових з'єднань додатково здійснюється контроль величини зміщення крайок, яка повинна відповідати вимогам конструкторської документації та положенням ДСТУ EN 13445-4:2022. Надмірне зміщення крайок може спричиняти локальну концентрацію напружень, зниження міцності стику та погіршення умов роботи конструкції під тиском.

Товщина стінки корпусу повинна повністю відповідати результатам міцнісного розрахунку та підтверджуватися сертифікатами якості на металопрокат. Допустимі відхилення по товщині повинні відповідати вимогам стандартів на листовий прокат, однак у будь-якому випадку фактична товщина металу не може бути меншою за мінімально допустиме розрахункове значення, яке забезпечує безпечну та довготривалу експлуатацію апарата в умовах робочого тиску.

Для обичайок, виготовлених шляхом вальцювання листового прокату, додатково контролюються довжина розгортки, правильність формування кільця, точність його замикання та взаємне положення крайок перед виконанням зварювання. Відхилення довжини розгортки не повинні перешкоджати забезпеченню необхідного монтажного зазору та створенню умов для отримання якісного стикового з'єднання без додаткових деформацій або примусових підгонок.

Під час остаточного приймального контролю перевіряється перпендикулярність торцевих поверхонь обичайки відносно її поздовжньої осі, відсутність місцевих вм'ятин, випучин, хвилястості, гофрованості та інших дефектів геометричної форми. Оцінюється також точність взаємного розташування конструктивних елементів, штуцерів, люків та допоміжних деталей. Усі виявлені відхилення, що виходять за межі встановлених допусків, повинні бути усунуті до початку остаточного складання виробу та виконання завершальних зварювальних операцій.

Дотримання зазначених вимог до шорсткості поверхонь, геометричної точності та розмірних характеристик забезпечує отримання якісної зварної конструкції, підвищує надійність скрубера в умовах тривалої експлуатації, зменшує ризик виникнення аварійних ситуацій та гарантує відповідність обладнання вимогам безпеки, що висуваються до апаратів газової промисловості та посудин, які працюють під тиском.

1.3.3 Вимоги до зварних з'єднань виробу

Зварні з'єднання скрубера є одними з найбільш відповідальних конструктивних елементів апарата, оскільки саме через них передаються та сприймаються основні експлуатаційні навантаження, що виникають під час роботи обладнання. У процесі функціонування виробу зварні шви та прилеглі до них зони зазнають дії внутрішнього надлишкового тиску, змінних температурних впливів, циклічних механічних навантажень, вібрації від руху

газового потоку, а також впливу агресивних компонентів природного газу, конденсату та продуктів корозії. З огляду на це довговічність, герметичність і безпечність експлуатації скрубера безпосередньо залежать від якості виконання зварних з'єднань, тому до їх проєктування, виготовлення, контролю та приймання висувуються особливо жорсткі вимоги.

Під час розроблення конструкції виробу необхідно прагнути до максимально можливого скорочення кількості зварних з'єднань. Конструктивні рішення повинні забезпечувати мінімальну сумарну довжину швів, зменшення кількості стиків між окремими елементами та усунення випадків перетину або зближення декількох зварних швів в одній зоні. Не допускається розташування зварних з'єднань у місцях концентрації напружень, поблизу різких змін перерізу конструкції, а також поряд із вузлами кріплення опор, ребер жорсткості, кронштейнів, люків, патрубків та штуцерів великого діаметра. Такі ділянки під час експлуатації можуть працювати в умовах складного напружено-деформованого стану, що підвищує ризик виникнення вторинних пошкоджень і локальних руйнувань.

Виготовлення зварних з'єднань повинно здійснюватися виключно за атестованими технологічними процесами зварювання, які пройшли кваліфікаційні випробування та підтвердили здатність забезпечувати необхідний рівень механічних властивостей і якості шва. До виконання робіт допускаються лише кваліфіковані зварники, атестовані відповідно до чинних нормативних вимог. Зварювальні матеріали, що застосовуються під час виготовлення виробу, повинні відповідати хімічному складу та механічним характеристикам основного металу. Метал шва за показниками міцності, пластичності, ударної в'язкості та тріщиностійкості повинен бути не нижчим за основний метал конструкції. Перед початком виконання робіт необхідно перевіряти сертифікати якості на електроди, дріт, флюси та захисні гази, а також контролювати умови їх транспортування, зберігання, сушіння та підготовки до використання.

Однією з основних вимог до відповідальних зварних з'єднань є забезпечення повного провару кореня шва по всій його довжині. Для обладнання газової галузі особливо небезпечними є внутрішні дефекти у вигляді непроварів, несплавлень, шлакових включень, прихованих порожнин і тріщин, які можуть стати джерелами концентрації напружень та осередками розвитку руйнування під дією робочого тиску. У конструкціях, що працюють з природним газом або газоконденсатними сумішами, наявність таких дефектів є неприпустимою. У випадках, коли це передбачено технологією зварювання, виконують підварювання кореня шва зі зворотного боку, а за необхідності проводять механічне видалення дефектних ділянок із подальшим повторним заварюванням та повторним контролем якості.

Після завершення зварювальних робіт усі зварні з'єднання повинні пройти встановлений комплекс контрольних операцій. Обов'язковому візуально-вимірювальному контролю підлягає кожний шов незалежно від його призначення та розмірів. Додатково, залежно від категорії відповідальності конструктивного елемента та вимог нормативної документації, застосовують неруйнівні методи контролю: ультразвукову дефектоскопію, радіографічний контроль, магнітопорошковий контроль, капілярну дефектоскопію або інші методи виявлення поверхневих і внутрішніх дефектів. Особливу увагу приділяють контролю поздовжніх зварних швів корпусу, кільцевих стиків обичайок, днищ, а також місць приварювання штуцерів, патрубків і технологічних елементів, які працюють в умовах підвищених локальних напружень.

Для обладнання, призначеного для очищення, підготовки та транспортування природного газу, одним із визначальних критеріїв якості є герметичність зварних з'єднань. Після завершення виготовлення корпус апарата повинен пройти випробування на міцність та щільність відповідно до вимог нормативних документів. Під час випробувань не допускаються ознаки розгерметизації, поява протікань, краплеутворення, потовиділення металу, падіння випробувального тиску або інші ознаки порушення цілісності констру-

кції. Виявлені дефекти підлягають повному усуненню з наступним проведенням повторного контролю та повторних випробувань до отримання позитивних результатів.

Метал зварного шва та зона термічного впливу повинні характеризуватися однорідною структурою без ознак перегріву, пережогу, надмірного росту зерна, утворення загартованих структур або тріщин різного походження. Особливо важливим для обладнання газової промисловості є забезпечення необхідної ударної в'язкості металу зварних з'єднань, оскільки під час експлуатації можливі значні коливання температури та динамічні навантаження. Для запобігання холодному розтріскуванню, утворенню водневої крихкості та надмірних залишкових напружень застосовують попередній підігрів зварюваних елементів, контроль міжпрохідної температури, регламентовані режими охолодження та, за необхідності, післязварювальну термічну обробку.

У готових зварних з'єднаннях не допускається наявність тріщин будь-якого походження, пропалів, непроварів, несплавлень, ланцюжків пор, шлакових і неметалевих включень, підрізів понад установлені норми, підпалів від зварювальної дуги поза межами шва, кратерів та інших дефектів, які можуть негативно впливати на несучу здатність, герметичність або довговічність конструкції. Поверхневі дефекти повинні бути повністю усунуті механічною обробкою або ремонтом відповідно до затвердженої технології. Допустимість окремих незначних поверхневих пор визначається виключно вимогами нормативної документації для встановленого рівня якості зварного з'єднання. Зовнішня поверхня шва повинна характеризуватися плавними переходами до основного металу, відсутністю різких западин і виступів, які можуть створювати локальні концентрації напружень та прискорювати розвиток втомних пошкоджень.

Особливого значення під час виготовлення обладнання для систем підготовки та транспортування природного газу набуває забезпечення довго-

тривалої експлуатаційної надійності зварних з'єднань. Конструкція швів, якість їх виконання та результати контролю повинні гарантувати безпечну роботу скрубера протягом усього нормативного строку служби без виникнення витоків газу, руйнування окремих елементів, аварійних ситуацій або необхідності проведення позапланових ремонтів. Якість зварних з'єднань повинна відповідати вимогам чинних нормативних документів, технічних умов, технологічних регламентів, стандартів газової промисловості та затвердженої конструкторської документації на виріб. Додатково конструкція зварних вузлів повинна забезпечувати можливість виконання періодичного технічного діагностування, неруйнівного контролю та оцінювання технічного стану обладнання протягом усього життєвого циклу апарата.

1.3.4 Вимоги до складання виробу

Складання скрубера є одним із відповідальних етапів виготовлення виробу, від якого безпосередньо залежать точність геометричних параметрів конструкції, якість виконання зварних з'єднань, герметичність корпусу та довговічність експлуатації обладнання. До процесу складання висуваються вимоги щодо забезпечення точності взаємного розташування елементів конструкції, контролю величини зазорів, правильності підготовки кромки під зварювання та дотримання встановлених монтажних допусків. Основними нормативними документами, що регламентують зазначені вимоги, є ДСТУ EN 13445-4:2022, ДСТУ EN ISO 9692-1, а також технологічна документація підприємства-виробника.

До початку складання всі деталі повинні пройти вхідний контроль на відповідність вимогам креслень, перевірку на відсутність тріщин, вм'ятин, окалини, механічних пошкоджень та інших недопустимих дефектів. Особлива увага приділяється якості підготовки кромки обичайок, днищ, штуцерів і патрубків, оскільки від точності їх взаємного встановлення значною мірою залежить якість формування майбутнього зварного з'єднання.

Під час складання обичайок встановлюються допустимі значення зміщення крайок, які не повинні перевищувати 10 % товщини стінки виробу, але не більше ніж 2 мм. Для штуцерів і патрубків необхідно забезпечити точне розташування відповідно до вимог креслень та виключити наявність перекосів. Торцеві поверхні деталей повинні бути підготовлені згідно з вимогами технологічного процесу та забезпечувати рівномірну величину зазору по всій протяжності стикового з'єднання.

Перед виконанням зварювання всі з'єднання фіксуються за допомогою прихваток. Прихватки повинні гарантувати надійне закріплення деталей без порушення геометрії стику під час транспортування, переміщення або виконання зварювальних робіт. Не допускається наявність у прихватках тріщин, несплавлень, пористості чи інших дефектів. Прихватки, які не входять до складу основного зварного шва, після завершення складання підлягають обов'язковому видаленню.

Температура металу та параметри навколишнього середовища під час виконання складальних робіт повинні відповідати вимогам технологічного процесу. Поверхні кромки перед зварюванням необхідно ретельно очищати від вологи, мастильних матеріалів, забруднень, окалини та інших речовин, які можуть негативно вплинути на якість формування зварного з'єднання.

Недотримання вимог до складання є однією з основних причин виникнення дефектів під час автоматизованого зварювання. Нерівномірність зазору між кромками може спричинити утворення непроварів або пропалів, зміщення крайок — виникнення несплавлень і нерівномірного проплавлення металу, а порушення геометричної форми обичайок — відхилення траєкторії автоматичного зварювання, появу підрізів та збільшення залишкових деформацій конструкції. Такі дефекти можуть стати причиною невідповідності зварних з'єднань вимогам ДСТУ EN ISO 5817 і потребувати проведення ремонтного зварювання.

Контроль усіх параметрів складання здійснюється за допомогою лінійок, шаблонів, щупів, рівнів та інших засобів вимірювального контролю. До виконання автоматизованого зварювання допускаються лише ті вузли, геометричні параметри яких повністю відповідають вимогам креслень і технологічної документації.

1.3.5 Вимоги до якості виробу

Для забезпечення надійності, герметичності та безпечної експлуатації скрубера на всіх етапах виготовлення застосовуються методи неруйнівного та руйнівного контролю, а також випробування готового виробу. Обсяг контролю визначається вимогами конструкторської документації, нормативних документів та технологічного процесу виготовлення.

Після виготовлення деталей та складання виробу виконується візуально-оптичний контроль (VT). Даний метод дозволяє виявляти поверхневі дефекти основного металу і зварних з'єднань, зокрема тріщини, подрізи, напливи, пропали, пористість, бризки металу, деформації та відхилення геометричних розмірів. Контроль здійснюється неозброєним оком або з використанням луп, шаблонів, лінійок, штангенциркулів та інших засобів вимірювання.

Для виявлення внутрішніх дефектів зварних з'єднань застосовується ультразвуковий контроль (UT). Метод ґрунтується на введенні в метал ультразвукових хвиль та аналізі сигналів, відбитих від внутрішніх неоднорідностей. Ультразвуковий контроль дозволяє виявляти тріщини, несплавлення, непровари, шлакові включення та інші дефекти, розташовані в товщі металу, без руйнування виробу.

Для контролю поверхневих дефектів застосовується капілярний контроль (PT). Метод базується на проникненні спеціальної індикаторної рідини в поверхневі несплошності металу. Після видалення надлишків пенетранта та нанесення проявника дефекти стають видимими у вигляді контрастних ін-

дикаторних слідів. Капілярний контроль є ефективним для виявлення дрібних тріщин, пор та інших дефектів, відкритих на поверхню.

У процесі виготовлення також здійснюється вимірювальний контроль геометричних параметрів виробу. Контролю підлягають діаметр та довжина обичайок, відхилення від круглості, взаємне розташування штуцерів, товщина стінок, прямолінійність елементів конструкції та інші параметри, визначені кресленнями і технічними вимогами.

Після завершення зварювальних робіт і неруйнівного контролю проводиться гідравлічне випробування виробу. Випробування виконується шляхом заповнення скрубера водою та створення випробувального тиску, який перевищує робочий. Під час випробування перевіряються міцність конструкції, герметичність зварних з'єднань, штуцерів, фланцевих з'єднань та інших елементів. Не допускаються течії, залишкові деформації, розриви або інші ознаки втрати працездатності обладнання.

За необхідності можуть застосовуватися додаткові методи контролю, зокрема магнітопорошковий контроль (МТ) для виявлення поверхневих і підповерхневих дефектів у феромагнітних матеріалах, радіографічний контроль (РТ) для перевірки якості зварних з'єднань за допомогою рентгенівського або гамма-випромінювання, а також контроль твердості металу та зварних з'єднань.

Комплексне застосування зазначених методів контролю забезпечує відповідність скрубера вимогам нормативної документації, високу якість виготовлення, надійність та безпечну експлуатацію обладнання протягом усього терміну служби.

1.4 Аналіз базового технологічного процесу

Виготовлення скрубера пов'язане з виконанням значного обсягу складально-зварювальних робіт, від якості яких залежать герметичність, міцність та надійність експлуатації обладнання. Традиційні технології механізованого

зварювання, що тривалий час застосовувалися при виготовленні аналогічних конструкцій, забезпечують отримання працездатних з'єднань, однак в умовах серійного виробництва не завжди дозволяють досягти необхідного рівня ефективності. Основними причинами є значні витрати часу на підготовчі та завершальні операції, нестабільність окремих параметрів процесу, утворення бризок металу та необхідність виконання додаткового контролю і коригування якості зварних швів.

Сучасний розвиток зварювального обладнання спрямований на максимальне керування процесами формування зварного з'єднання за рахунок цифрових систем регулювання параметрів дуги. Такі технології дозволяють забезпечити більш стабільний перебіг зварювального процесу, підвищити точність дозування теплової енергії, покращити умови формування металу шва та знизити ймовірність виникнення технологічних дефектів. Використання керованого перенесення електродного металу створює передумови для підвищення якості зварних з'єднань без суттєвого ускладнення виробничого процесу.

Важливим напрямом підвищення ефективності виробництва є концентрація складальних та зварювальних операцій на спеціалізованих робочих постах. Це дає можливість скоротити кількість допоміжних переміщень виробу, покращити умови базування елементів конструкції, забезпечити більш високу точність взаємного розташування деталей та підвищити рівень механізації виробництва. У результаті зменшується тривалість виробничого циклу та забезпечується більш стабільна якість готової продукції.

У зв'язку з цим у роботі передбачається виконати аналіз сучасних технологій зварювання для виготовлення скрубера, обґрунтувати вибір способу зварювання та зварювальних матеріалів, розробити технологічний процес складання і зварювання виробу, визначити раціональні режими виконання зварних з'єднань, а також встановити комплекс методів контролю, необхідних для забезпечення вимог до якості та надійності готової конструкції.

2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Вибір та обґрунтування способу зварювання

Серед технологій дугового зварювання, придатних для виготовлення корпусних елементів скрубера зі сталі 09Г2С, можуть бути використані ручне дугове зварювання покритими електродами (РДЗ), автоматичне зварювання під флюсом (ЗПФ), механізоване та автоматизоване зварювання плавким дротом у середовищі вуглекислого газу (MAG-CO₂), а також процеси із застосуванням газової суміші аргону та вуглекислого газу (MAG-Ar+CO₂). Кожна із зазначених технологій відрізняється особливостями виконання, рівнем механізації, характером формування зварного з'єднання та економічною ефективністю, що необхідно враховувати під час вибору способу виготовлення обладнання.

Ручне дугове зварювання покритими електродами, рис. 2.1, є одним із найбільш поширених та універсальних методів отримання нерознімних з'єднань. Основною його перевагою вважається можливість виконання робіт практично в будь-якому просторовому положенні без застосування складних технічних засобів. Водночас цей процес потребує значної участі зварника, характеризується відносно невеликою швидкістю виконання робіт та супроводжується втратами електродного металу у вигляді огарків. Якість отриманого результату значною мірою залежить від професійної підготовки виконавця, тому РДЗ доцільно використовувати для прихваток, монтажних операцій і зварювання ділянок, доступ до яких ускладнений для механізованих систем.

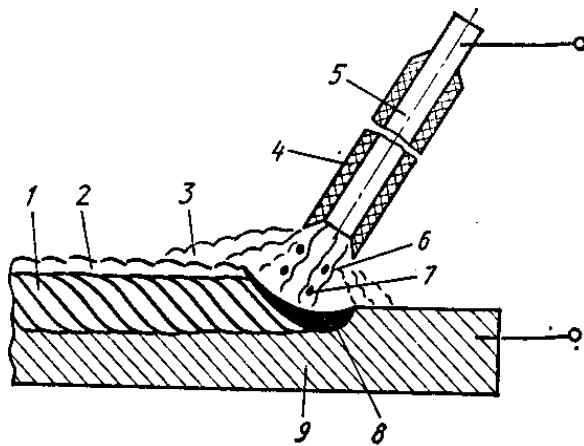


Рисунок 2.1 - Схема ручного дугового зварювання металевим покритим електродом: 1– шов; 2 – шлак; 3 – захисна газова атмосфера; 4 – електродне покриття; 5 – електрод; 6 – електрична дуга; 7 – краплі електродного металу; 8 – зварювальна ванна; 9 – заготовка

Автоматичне зварювання під флюсом, рис. 2.2, вирізняється значною інтенсивністю наплавлення та можливістю виконання довгих суцільних швів без перерв. Шар флюсу ізолює розплавлений метал від контакту з атмосферою, що сприяє отриманню металургійного з'єднання з незначною кількістю пор і сторонніх включень. Крім того, такий процес дозволяє досягати значної глибини провару при стабільному перебігу зварювання. Разом із тим технологія найкраще реалізується при виконанні робіт у нижньому положенні та потребує використання спеціалізованого обладнання, а також якісної підготовки кромки перед складанням вузлів.

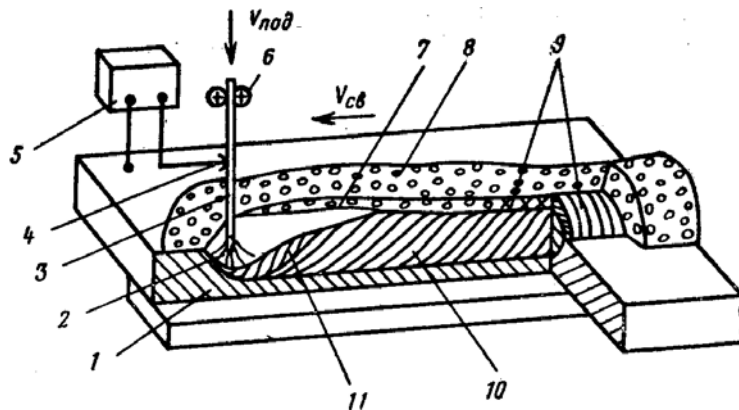


Рисунок 2.2 - Схема зварювання під флюсом:

1 - метал, що зварюється; 2 - дуга; 3 - електродний дріт; 4 – струмопід-вод; 5 - джерело струму; 6 - ролик, що подає; 7 – розплавлений шлак; 8 - флюс; 9 – шлак; 10 - метал шва; 11 - метал зварювальної ванни

Механізоване та автоматизоване зварювання у середовищі CO_2 поєднує достатньо високу продуктивність із широкими технологічними можли-

востями. Цей спосіб придатний як для виконання поздовжніх і кільцевих стиків корпусних деталей, так і для приварювання штуцерів, патрубків та інших допоміжних елементів конструкції. Безперервне подавання дроту та відсутність втрат на огарки дозволяють ефективніше використовувати присадний метал порівняно з ручним зварюванням. Застосування сучасних інверторних джерел живлення з цифровим керуванням перенесенням металу дає змогу суттєво знизити кількість бризок, підвищити стійкість дугового процесу та покращити геометричні параметри зварного з'єднання.

Зварювання у суміші аргону та вуглекислого газу широко застосовується для виготовлення відповідальних конструкцій, до яких висувуються підвищені вимоги щодо якості з'єднань. Менша окиснювальна активність захисного середовища позитивно впливає на характер перенесення металу через дуговий проміжок, сприяє зменшенню розбризкування та покращує зовнішній вигляд отриманого шва. Разом із перевагами даний варіант пов'язаний із додатковими витратами на газову суміш та ускладненням системи газопостачання виробництва. При цьому сучасні джерела живлення дозволяють частково реалізувати аналогічні переваги і під час роботи в середовищі чистого CO₂.

Для обґрунтованого вибору технології необхідно враховувати не лише економічні показники процесу, а й особливості формування металу з'єднання та прилеглих зон основного металу. Важливими критеріями є конфігурація шва, характер провару кромek, величина теплового впливу на метал конструкції, схильність до появи технологічних дефектів та напружено-деформований стан після завершення зварювання. Саме ці фактори визначають надійність роботи обладнання та його довговічність під час експлуатації під внутрішнім тиском.

Під час ручного дугового зварювання можна отримати з'єднання належної якості, однак результат значною мірою залежить від стабільності виконання операцій зварником. Нерівномірне тепловкладення та коливання шви-

дкості ведення електрода можуть спричиняти зміни форми шва та ступеня провару. У зоні термічного впливу іноді спостерігається структурна неоднорідність, а відхилення від рекомендованих режимів підвищують ризик появи шлакових включень, несплавлень та локальних концентрацій напружень. Значна кількість проходів також сприяє накопиченню деформацій у конструкції.

Для автоматичного зварювання під флюсом характерне утворення металу шва з високою щільністю та однорідною будовою. Стабільний режим роботи дозволяє отримувати плавний перехід між наплавленим і основним металом, а ізоляція зварювальної ванни від атмосферного повітря зменшує ймовірність виникнення внутрішніх дефектів. Водночас значне тепловкладення призводить до розширення ділянки термічного впливу та може стати причиною збільшення деформацій окремих елементів корпусу після охолодження.

Зварювання у вуглекислому газі характеризується достатньою інтенсивністю провару та хорошими виробничими показниками. Для традиційних режимів роботи властиве підвищене розбризкування металу, що потребує додаткових операцій очищення поверхні після завершення зварювання. Використання сучасних систем цифрового керування перенесенням металу дозволяє стабілізувати відрив крапель, покращити зовнішній вигляд валика та знизити втрати металу. У результаті зменшується ймовірність утворення підрізів, пористості та несплавлень, а структура металу шва і прилеглих ділянок стає більш рівномірною.

Застосування суміші аргону та вуглекислого газу створює більш сприятливі умови для отримання якісного металу з'єднання. Завдяки зниженню інтенсивності окиснювальних процесів зменшується кількість оксидних включень, покращуються пластичні характеристики металу та його опір ударним навантаженням. Отриманий шов має рівнішу поверхню, а зміни структури в зоні термічного впливу є менш вираженими. Разом із тим сучасні сис-

теми MAG-зварювання у середовищі CO_2 дозволяють досягати близьких показників якості за рахунок точного керування параметрами процесу.

Для виготовлення скрубера доцільно застосовувати механізоване або автоматизоване MAG-зварювання у середовищі вуглекислого газу з використанням сучасних джерел живлення, оснащених функціями керованого перенесення металу. Такий підхід дозволяє поєднати високу ефективність виробництва з належною якістю зварних з'єднань, зменшити втрати металу на розбризкування та знизити ризик виникнення дефектів. Додаткові можливості використання роликів обертачів, автоматичних кареток і систем моніторингу режимів сприяють підвищенню повторюваності результатів та виконанню вимог, що висуваються до обладнання нафтогазової галузі.

2.2 Вибір зварювальних матеріалів

Під час механізованого зварювання у середовищі вуглекислого газу застосовують зварювальні дроти, леговані марганцем і кремнієм. Необхідність використання таких дротів пов'язана з особливостями металургійних процесів, що відбуваються у зварювальній ванні. Внаслідок термічного розкладу CO_2 у зоні дуги утворюється активне кисневе середовище, яке взаємодіє з розплавленим металом. Надмірне окиснення може сприяти появі пористості, неметалевих включень, а також негативно впливати на механічні властивості металу шва.

Марганець у складі електродного дроту виконує функції розкислення та десульфурзації металу. Він зв'язує кисень і сірку у стійкі сполуки, які переходять у шлакову фазу та видаляються із зони кристалізації. У результаті знижується схильність металу шва до утворення гарячих тріщин і покращуються його міцнісні характеристики. Кремній також бере участь у процесах розкислення, сприяючи очищенню металу від надлишкового кисню. Крім цього, він покращує розтікання розплаву, підвищує змочуваність кромки та сприяє формуванню рівномірного валика з плавним переходом до основного

металу. Для зварювання низьколегованої сталі 09Г2С у середовищі вуглекислого газу можуть застосовуватися дроти Св-08Г2С, Св-08ГС та Св-10Г2. Для даного проєкту прийнято дріт Св-08Г2С (табл. 2.1).

Таблиця 2.1. Хімічний склад зварювального дроту Св-08Г2С у %.

Марка дроту	C	Si	Cr	Ni	Mn	S (не більше)	P (не більше)
Св-08Г2С	0,05-0,11	0,7-0,95	<20	<25	1,8-2,1	0,025	0,03

Порівняно з дротом Св-08, дріт Св-08Г2С містить підвищену кількість марганцю та кремнію, що позитивно впливає на процеси розкислення металу зварювальної ванни. Завдяки цьому зменшується ймовірність утворення пор, покращується чистота металу шва та підвищується його структурна однорідність. Наплавлений метал характеризується достатньою пластичністю, високою ударною в'язкістю та стійкістю до утворення гарячих і холодних тріщин. Додатковою перевагою є стабільне горіння дуги, менші втрати металу на розбризкування та формування рівної поверхні шва з якісним змочуванням кромek.

Для виконання основних поздовжніх і кільцевих стиків корпусу скрубера прийнято використання дроту Св-08Г2С у середовищі захисної газової суміші CORGON® 8 (92 % Ar + 8 % CO₂), що належить до групи М21 відповідно до ISO 14175. Зменшений вміст вуглекислого газу сприяє стабільнішому перенесенню електродного металу через дуговий проміжок, знижує рівень розбризкування та покращує формування швів на деталях складної конфігурації. Завдяки більш м'якому режиму горіння дуги зменшується обсяг післязварювальної обробки, покращується зовнішній вигляд з'єднань та підвищується стабільність технологічного процесу.

Поєднання дроту Св-08Г2С із захисним середовищем CO₂ для виконання основних корпусних швів і сумішшю CORGON® 8 для приварювання арматури дозволяє раціонально поєднати продуктивність, економічність та

якість зварювання, [14]. Такий підхід забезпечує отримання надійних зварних з'єднань, що відповідають вимогам до обладнання нафтогазової галузі, та створює умови для ефективної механізації виробничого процесу.

2.3 Розрахунок зварювальних режимів

Для поздовжніх та кільцевих швів використовуємо зварювання автоматом у суміші газів 92 % Ar + 8 % CO₂ для стикових з'єднань з кромками, а для приварювання арматури, а саме фланців, труб та опорів застосовуються таврові з'єднання. Величину зварювального струму при виконанні швів таврових з'єднань визначають з необхідності одержання задовільного формування, [15].

Методика розрахунку режиму зварювання для таврового з'єднання є загальновідомою, [18-19]: спочатку знаходимо силу струму за допустимою щільністю струму приймаємо 200 А/мм², далі визначаємо напругу на дузі, а для швидкості зварювання дотримуємося умови необхідної проплавленої площі металу з врахуванням коефіцієнту опуклості (1,25), далі розраховуємо також погонну енергію дуги та глибину провару ширину шва висоту для валика та загальну висоту розрахованого шва, ширину для кутового шва, а також коефіцієнт для форми кутового шва, [16,17].

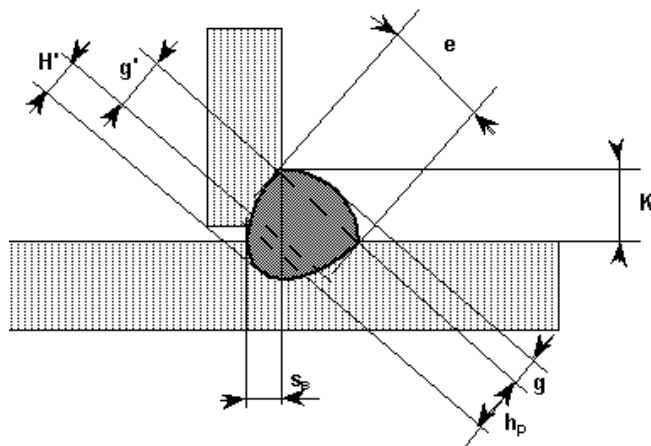


Рисунок 2.1.3 - Геометрія для таврового зварного з'єднання.

Розрахунки ведемо табличним способом.

$I_{36} = \frac{\pi \cdot d_e^2}{4} \cdot i$	$I_{36} = \frac{\pi \cdot 1,2^2}{4} \cdot 200 = 226 \text{ A}$
$U_{\partial} = 20 + \frac{0,05 \cdot I_{36}}{d_y^{0,5}} \pm 1$	$U_{\partial} = 20 + \frac{0,05 \cdot 226}{1,2^{0,5}} \pm 1 = 29 \text{ В}$
$F_{н.мр} = k_y \frac{k^2}{2}$	$F_{н.мр} = 1,25 \frac{8^2}{2} = 40 \text{ мм}^2$
$V_{36} = \frac{\alpha_n \cdot I_{36}}{3600 \cdot \gamma \cdot F_{н.мр}}$	$V_{36} = \frac{12 \cdot 226}{3600 \cdot 7,8 \cdot 0,4} = 0,2 \text{ см/с}$
$q_i = \frac{0,24 \cdot I_{36} \cdot U_{\partial} \cdot \eta_e}{V_{36}}$	$q_i = \frac{0,24 \cdot 226 \cdot 29 \cdot 0,7}{0,2} = 4611 \text{ кал/см}$
$H = 0,0165 \sqrt{\frac{q_i}{\psi}}$	$H = 0,0165 \sqrt{\frac{4611}{2,6}} = 6,9 \text{ мм}$
$\psi = k_2(19 - 0,01 \cdot I_{36}) \cdot \frac{d_3 \cdot U_{\partial}}{I_{36}} = 1(19 - 0,01 \cdot 226) \cdot \frac{1,2 \cdot 29}{226} = 2,6$	
ширина шва $e = \psi \cdot H = 2,6 \cdot 6,9 = 18,1 \text{ мм}$ висота валика $g = \frac{F_{н.мр}}{0,73 \cdot e} = \frac{40}{0,73 \cdot 18,1} = 3,0 \text{ мм}$ загальна висота стикового шва $c = H + g = 6,9 + 3,0 = 10 \text{ мм}$	
$g' = \sqrt{F_{н.мр}} = \sqrt{40} = 6,3 \text{ мм}$ $H' = c - g' = 10 - 6,3 = 3,7 \text{ мм}$	

$$e = 2 \cdot g' = 2 \cdot 6,3 = 12,6 \text{ мм}$$

$$\psi = \frac{e}{c} = \frac{12,6}{10} = 1,3$$

Значення $\psi = 1,3$ будемо вважати достатнім, оскільки для механізованого зварювання оскільки не перевищує 2,0 при даних струмах.

$$h_p = (k_p + s_e) \sin 45^\circ = (8 + 3,3) \sin 45^\circ = 8,0 \text{ мм}$$

$$sb = (0,8 \dots 1,0) H' = 6,0 \text{ мм}$$

Подібним чином ведемо розрахунок і для стикового зварного з'єднання товщиною 12 мм у нижнім положенні за способом залишеної керамічної підкладки усе автоматичним способом у вуглекислому газі.

Методика розрахунку режиму зварювання для стикового з'єднання є також загальновідомою: спочатку знаходимо силу струму за допустимою щільністю струму приймаємо 200 А/мм^2 , далі визначаємо напругу на дузі, а для швидкості зварювання дотримуємося умови необхідної проплавленої площі металу з врахуванням коефіцієнту опуклості швата зазору (1,25), далі розраховуємо також погонну енергію дуги q_n та глибину провару ширину шва e , висоту для валика H та загальну висоту розрахованого шва g , ширину c , площі наплавленого металу F , загальна h , поперечного перерізу посилення $втр$, а також коефіцієнт для форми кутового шва.

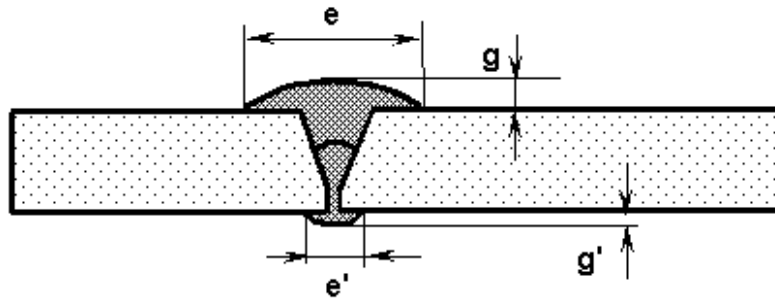


Рисунок 2.1.4 Геометрія стикового з'єднання з обробленням кромки

Приймаємо зварювальний дріт з діаметром $d_e = 1,6 \text{ мм}$;
 $i = 140 \text{ А/мм}^2$.

$I_{36} = \frac{\pi \cdot d_e^2}{4} \cdot i$	$I_{\text{сд}} = \frac{3,14 \cdot 1,6^2}{4} \cdot 140 = 281 \text{ А}$
$U_{\text{д}} = 20 + \frac{0,05 \cdot I_{36}}{d_e^{0,5}} - 1$	$U_{\text{д}} = 20 + \frac{0,05 \cdot 281}{1,2^{0,5}} - 1 = 29 \text{ В}$
$V_{36} = \frac{A}{I_{36}}$	$V_{\text{сд}} = \frac{9 \cdot 1000}{281 \cdot 36} = 0,89 \text{ см/с}$
$H = A \sqrt{\frac{q_n}{\psi}}$ $\psi = k_2(19 - 0,01 \cdot I_{36}) \cdot \frac{d_e \cdot U_{\text{д}}}{I_{36}}$	$H = 0,0165 \sqrt{\frac{1440}{2,4}} = 0,4 \text{ см}$ $\psi = k_2(19 - 0,01 \cdot I_{36}) \cdot \frac{d_e \cdot U_{\text{д}}}{I_{36}}$
$e = H \cdot \psi = 0,4 \cdot 2,4 = 0,97 \text{ см}$	
$F_{H_1} = \frac{\alpha_n \cdot I_{36}}{3600 \cdot \gamma \cdot V_{36}}$	$F_{H_1} = \frac{10 \cdot 281}{3600 \cdot 0,89} = 0,88 \text{ см}^2$

$g = \sqrt{\frac{F'_{11}}{0,73 \cdot \psi}}$	$g = \frac{0,88}{0,73 \cdot 2,4} = 0,71 \text{ см}$
$c = H + g$	$c = 0,4 + 0,71 = 1,11 \text{ см}$
$g'' = \sqrt{\frac{F'_{11} - c \cdot b}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}}$	$g'' = \sqrt{\frac{0,88 - 1,11 \cdot 0,3}{\operatorname{tg} \frac{50}{2}}} = 1,08 \text{ см}$
$F_i = (\delta - a)^2 \cdot \operatorname{tg}(\frac{\alpha}{2}) + (\delta - b)$	$F_{\Pi} = (16 - 2)^2 \cdot \operatorname{tg}(50/2) + (16 - 3) =$
$e_{\delta\delta} = b + 2 \cdot (\delta - a)^2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$	$e_{\delta\delta} = 3 + 2 \cdot (16 - 2)^2 \cdot \operatorname{tg} \frac{50}{2} + 2 \cdot 2,5 = 21,$
$F_{\text{в.мп}} = 0,73 \frac{e_{\text{мп}}^2}{\psi_y}$	$F_{\text{в.дд}} = 0,73 \cdot \frac{21,06^2}{10} = 32,37 \text{ мм}^2$
$F_{\text{Н}} = 139,4 + 32,37 = 171,76 \text{ мм}^2$	
$F'_{\text{Н}} = F_{\text{Н}} - F_{\text{Н1}} = 171,76 - 88,0 = 83,72 \text{ мм}^2$	

Другий прохід проводим з діаметром дроту 1,6 мм та струмом 180 А/мм²

$I_{3\phi} = \frac{\pi \cdot d_e^2}{4} \cdot i$	$I_{\text{сд}} = \frac{3,14 \cdot 1,6^2}{4} \cdot 180 = 362 \text{ А}$
$V_{3\phi} = \frac{\alpha_{\text{н}} \cdot I_{3\phi}}{3600 \cdot \gamma \cdot F'_{\text{Н}}}$	$V_{\text{сд}} = \frac{10 \cdot 362}{3600 \cdot 7,8 \cdot 83,72} = 1,54 \text{ см/с}$
$U_{\delta} = 20 + \frac{0,05 \cdot I_{3\phi}}{d_e^{0,5}} \pm 1$	$U_{\text{д}} = 20 + \frac{0,05 \cdot 362}{1,6^{0,5}} \pm 1 = 33 \text{ В}$

$q = 0,24 \cdot I_{зг} \cdot U_{д} \cdot \eta_u$	$q = 0,24 \cdot 362 \cdot 33 \cdot 0,65 = 2314$
$H = 0,0156 \sqrt{\frac{q}{\psi \cdot V_{зг}}}$	$H = 0,0156 \sqrt{\frac{2314}{2,3 \cdot 1,54}} = 0,43 \text{ см}$
$e = H \cdot \psi = 0,43 \cdot 2,3 = 1,0 \text{ см}$	

Результати розрахунків зведені до таблиці.

Таблиця 2.1.1 Режими зварювання таврових з'єднань.

Вид шва	Режим зварювання				Основні розміри перетину шва						
	$I_{зг},$ А	$d_{зг},$ мм	$U_{д},$ В	$V_{зг},$ м/год	$F_{н},$ мм ²	$H',$ мм	$e',$ мм	$g',$ мм	$s_{зг},$ мм	$h_{зг},$ мм	γ
Тавровий без оброблення кромок	230	1,2	29	8,7	40	3,6	12,6	6,3	3,3	8,0	1,3

Таблиця 2.1.2 Режими зварювання стикового з'єднання

Вид шва	Режим зварювання				Основні розміри перетину шва						
	$I_{зг},$ А	$d_{зг},$ мм	$U_{д},$ В	$V_{зг},$ м/год	$F_{н},$ мм ²	лицьова сто- рона			зворотна сторона		
						$e,$ мм	$g,$ мм	$\Psi_{л}$	$e',$ мм	$g',$ мм	$\Psi_{об}$
Корінь шва (механізо- вана в Аг+8%CO ₂)	281	1,6	29	32,0	88	--	--	--	9,6	0,9	10
Другий прохід (меха- нізована в Аг+8%CO ₂)	362	1,6	33	55,4	84	21	2,1	10	--	--	--

Отже, розраховано режими зварювання автоматичним способом у вуглекислому газі.

2.4 Вибір і обґрунтування зварювального устаткування

Автоматична MIG/MAG головка ESAB A2SG J1 4WD, встановлена на пересувному візку порталу. Головка обладнана чотирироликівим механізмом подачі дроту та призначена для механізованого й автоматизованого зварювання плавким електродом у середовищі CO₂ або сумішах захисних газів. Максимальний зварювальний струм становить 650 А при зварюванні у CO₂, що забезпечує виконання кільцевих швів корпусу скрубера з необхідною продуктивністю та якістю.

Живлення зварювального автомата здійснюється від джерела живлення ESAB Aristo 500ix . Дане джерело забезпечує стабільне горіння дуги, покращує формування шва та сприяє зниженню рівня розбризкування при MAG-зварюванні в середовищі CO₂.

Корпус виробу встановлюється на роликівому обертачі, який забезпечує обертання деталі навколо її поздовжньої осі під час виконання кільцевих швів. Обертач складається з приводної та холостої роликівих опор, обладнаних роликами для підтримування і центрування виробу. Обертання виробу узгоджується зі швидкістю переміщення зварювальної головки, що дозволяє забезпечити стабільність режимів зварювання по всій довжині з'єднання.

Роликівий стенд призначений для складання та зварювання циліндричних корпусних елементів посудин, що працюють під тиском. Використання стенда забезпечує підтримування виробу, його центрування та обертання під час виконання зварювальних робіт.

На стенді виконуються операції складання окремих обичайок у єдиний корпус, підготовка стиків до зварювання та контроль взаємного розташування елементів конструкції. Особлива увага приділяється забезпеченню співвідносності обичайок, дотриманню необхідних зазорів між кромками та запобіганню зміщенню деталей у процесі складання.

Конструкція стенда дозволяє виконувати зварювання як кільцевих, так і поздовжніх швів корпусу. Обертання виробу з регульованою швидкістю створює умови для рівномірного формування зварного з'єднання та підви-

щення стабільності технологічного процесу. За відповідного розташування виробу і зварювального обладнання на стенді може одночасно виконуватися зварювання двох кільцевих швів.

Для складання та фіксації виробу використовуються гідравлічний притискач-центратор і притискні лапи. Їх застосування забезпечує точне взаємне розташування деталей, утримання необхідного зазору між кромками та зменшення деформацій у процесі зварювання.

Керування роботою комплексу здійснюється з пульта керування, розташованого поблизу робочої зони. Комплекс дозволяє виконувати механізоване зварювання корпусних виробів значних габаритів із забезпеченням стабільної швидкості подачі електродного дроту, переміщення зварювальної головки та обертання виробу.

Автоматична зварювальна головка ESAB A2SG J1 4WD призначена для механізованого та автоматизованого MIG/MAG-зварювання стикових і кутових з'єднань. Конструкція головки дозволяє встановлювати її на зварювальні портали, колонно-консольні установки, каретки та інші системи автоматизації зварювального виробництва.

Основним вузлом головки є чотирироликовий механізм подачі електродного дроту, який забезпечує стабільну подачу дроту діаметром від 1,0 до 1,6 мм при зварюванні низьколегованих сталей. До складу головки входять, рис. 4.7: 1 – механізм подачі зварювального дроту з чотирироликовим приводом; 2 – ручний лінійний супорт; 3 – моторизований лінійний супорт; 4 – вузол кріплення зварювального пальника; 5 – електродвигун подачі зварювального дроту; 6 – тримач котушки зі зварювальним дротом, [12].

Порівняно з аналогічними радянськими зварювальними головками, ESAB A2SG J1 4WD забезпечує вищу стабільність подачі дроту завдяки чотирироликовому приводу, що особливо важливо під час роботи з довгими шланг-пакетами та при використанні великих швидкостей подачі. Конструкція головки дозволяє точніше підтримувати положення пальника відносно

стику, що сприяє покращенню геометрії шва та зменшенню кількості дефектів.

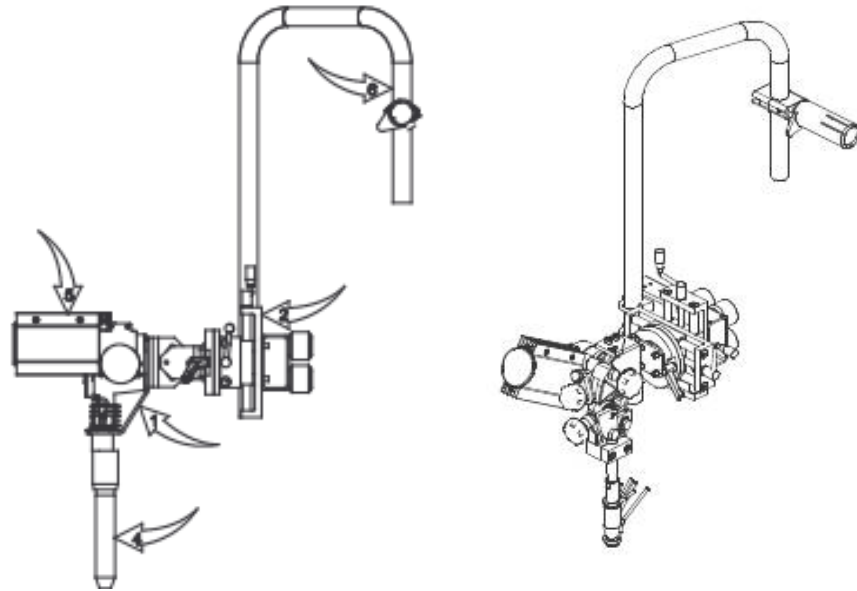


Рисунок 2.6 – Будова зварювального автомату ESAB A2SG J1 4WD

Додатковою перевагою є можливість інтеграції головки із сучасними цифровими джерелами живлення та системами автоматичного керування процесом зварювання. Це дозволяє реалізувати синергетичні режими зварювання, забезпечити стабільне горіння дуги та знизити рівень розбризкування металу порівняно з обладнанням попередніх поколінь.

Головка може комплектуватися моторизованими супортами для дистанційного регулювання положення пальника по вертикалі та горизонталі. У складі автоматизованих комплексів також можуть застосовуватися окремі механізми поперечних коливань пальника, що дозволяють формувати шви збільшеної ширини, покращувати проплавлення кромek та забезпечувати рівномірний розподіл наплавленого металу. Залежно від конфігурації установки коливальні рухи можуть виконуватися як самою головкою через додатковий осцилятор, так і зовнішнім механізмом, встановленим між супортом і зварювальним пальником.

Застосування головки ESAB A2SG J1 4WD у складі порталної установ-
ки для зварювання корпусу скрубера забезпечує підвищення продуктивності
процесу, покращення якості формування шва, зменшення впливу людського
фактора та підвищення повторюваності результатів зварювання.

Таблиця 2.3 – Характеристика автомату ESAB A2SG J1 4WD [21]

Параметр	A2SG J1 4WD (MIG/MAG)	
Тип захисного газу	Суміш / Ar	CO ₂
Допустиме навантаження при ПВ 100 %	600 А	650 А
Діаметри зварювального дроту:		
Низьколеговані та нелеговані сталі	1,0–1,6 мм	1,0–1,6 мм
Нержавіючі сталі	1,0–1,6 мм	–
Порошковий дріт (cored wire)	1,0–2,4 мм	1,0–2,4 мм
Алюміній	1,0–2,0 мм	–
Швидкість подачі дроту	2,0–25 м/хв	2,0–25 м/хв
Діапазон налаштування, контактний наконечник	±45°	±45°
Момент гальмування маточини котушки	1,5 Нм	1,5 Нм
Максимальна маса котушки з дротом	30 кг	30 кг
Маса головки (без дроту):		
з ручними лінійними супортами	23 кг	23 кг
з моторизованими лінійними супортами	45 кг	45 кг
Максимальний бічний нахил (усього блоку)	25°	25°
Діапазон регулювання довжини супорта*:		
при ручному керуванні	90 мм	90 мм
при моторизованому керуванні	180 мм	180 мм
Клас захисту	IP10	IP10

Джерело живлення ESAB Aristo 500ix забезпечує робочий діапазон
струмів, достатній для автоматизованого MAG-зварювання корпусних дета-
лей скрубера зі сталі 09Г2С товщиною до 12 мм. Використання цифрової си-
стеми керування дозволяє стабілізувати параметри дуги, знизити розбризку-
вання металу та забезпечити високу повторюваність результатів зварювання.

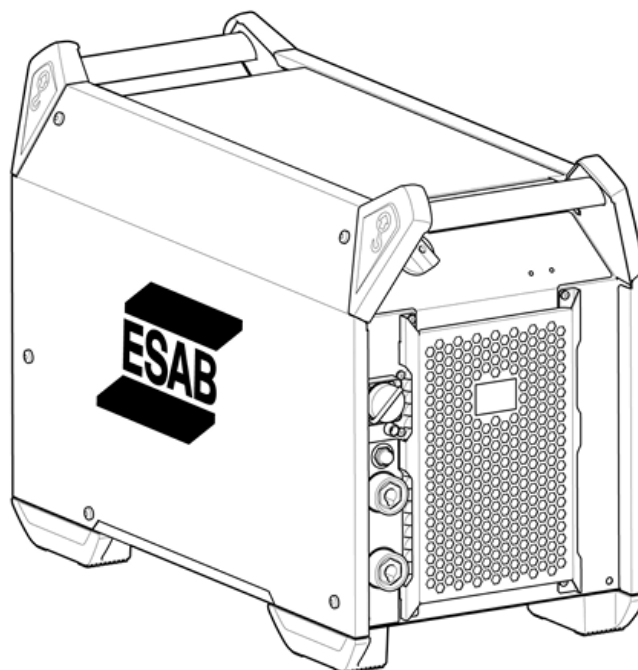


Рисунок 2.7 - Джерело живлення ESAB Aristo 500ix

Таблиця 2.4 – Характеристика джерела ESAB Aristo 500ix [22]

Параметр	Значення
Модель	ESAB Aristo 500ix
Тип	Інверторне джерело MIG/MAG, MMA, TIG
Напруга живлення	3×380–460 В, 50/60 Гц
Діапазон струму MIG/MAG	16–500 А
ПВ 60 %	500 А
ПВ 100 %	400 А
Напруга холостого ходу	71 В
Діапазон напруги дуги	8–60 В
Коефіцієнт потужності	0,95
ККД	≈89 %
Ступінь захисту	IP23
Клас ізоляції	Н
Габарити	774×598×1443 мм
Маса	≈83 кг
Процеси	MIG/MAG, Pulse, MMA, TIG
Керування	Цифрове, синергетичне
Сумісні подавачі	Aristo Feed 3004, 4804

Для приварювання штуцерів, патрубків та іншої арматури до корпусу скрубера застосовується обладнання для механізованого зварювання у захисній газовій суміші $\text{Ar}+\text{CO}_2$.

Для виконання цих операцій використовується зварювальне джерело Fronius TransSteel 5000 [23], яке забезпечує цифрове керування параметрами процесу та стабільне формування зварного шва. Завдяки можливості роботи як у суміші $\text{Ar}+\text{CO}_2$, так і у вуглекислому газі, обладнання може використовуватися для виконання прихваток, коротких монтажних швів і приварювання арматури до корпусних деталей.

Апарат дозволяє регулювати зварювальний струм до 500 А та підтримує різні режими зварювання, що забезпечує високу якість формування шва і зручність налаштування технологічних параметрів. У комплекті застосовується пальник Fronius AW5000, призначений для зварювання плавким дротом діаметром до 1,6 мм у середовищі захисних газів, [24].

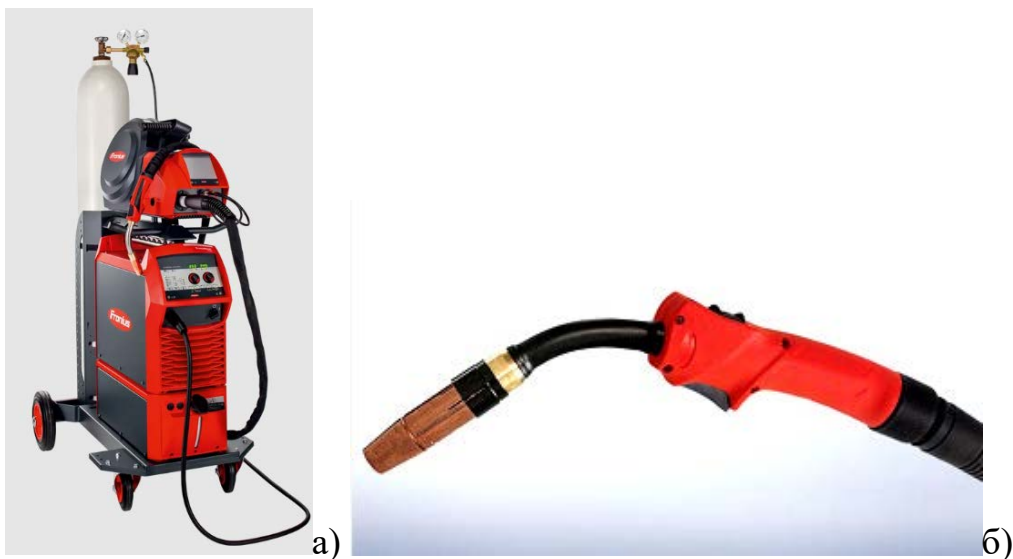


Рисунок 2.8 – Напівавтомат TransSteel 5000, а, та пальник AW5000 фірми Фроніус.

2.5 Вибір методу контролю якості

Контроль якості складання та зварювання скрубера здійснюється на усіх етапах включаючи проміжні. Попередній контроль включає перевірку сертифікатів на основний метал і зварювальні матеріали, справності зварювального обладнання, засобів контролю, а також кваліфікації персоналу. Одночасно перевіряють відповідність геометричних розмірів заготовок вимогам конструкторської документації.

У процесі складання виконують візуальний та вимірювальний контроль підготовки кромки, величини зазорів, зміщення елементів, якості прихваток і взаємного розташування деталей. Перед початком зварювання поверхні з'єднань очищають від іржі, мастила, вологи, окалини та інших забруднень, які можуть негативно вплинути на якість шва.

Після виконання зварювання всі зварні з'єднання підлягають візуально-вимірювальному контролю. Перевіряють ширину та підсилення шва, плавність переходу до основного металу, відсутність підрізів, напливів, прожогів, тріщин, пор і інших поверхневих дефектів. Для виявлення поверхневих тріщин, несправностей та інших дефектів, що виходять на поверхню, застосовується кольоровий капілярний контроль із використанням пенетрантів та проявників.

Для ультразвукового контролю зварних з'єднань використовується дефектоскоп HARFANG WAVE компанії Sonatest. Прилад побудований на сучасній цифровій платформі та забезпечує високу достовірність виявлення внутрішніх дефектів зварних з'єднань. Програмне забезпечення дефектоскопа дозволяє налаштовувати інтерфейс відповідно до умов контролю, що підвищує продуктивність роботи оператора та зручність аналізу результатів.



Рисунок 2.9 - Ультразвуковий дефектоскоп Wave, [25]

Особливістю приладу є наявність інтерактивної системи сканування InterScan, яка забезпечує візуалізацію траєкторії поширення ультразвукового променя в об'єкті контролю. Функція моделювання геометрії виробу та відображення положення відбивача дозволяє більш точно визначати координати виявлених дефектів, оцінювати їх розміри та розташування відносно зварного шва. Це підвищує достовірність контролю та спрощує інтерпретацію результатів під час обстеження відповідальних зварних з'єднань посудин і апаратів, що працюють під тиском.

Контроль стикових зварних з'єднань корпусу скрубера товщиною 8–12 мм виконується похилими суміщеними перетворювачами з кутом вводу ультразвукових коливань 60° та 70° і робочою частотою 4–5 МГц. Сканування проводиться з обох боків зварного шва із застосуванням контактної рідини для забезпечення стабільного акустичного контакту. Під час контролю здійснюється пошук внутрішніх дефектів, зокрема тріщин, несплавлень, непроварів, пористості та шлакових включень у металі шва і зоні термічного впливу.

Налаштування дефектоскопа виконується за стандартними зразками відповідно до товщини контролюваного металу та схеми прозвучування. Отримані сигнали аналізуються за амплітудою, координатами та характером

відбиття. За допомогою програмного забезпечення HARFANG WAVE оператор отримує графічне відображення траєкторії ультразвукового променя та положення виявленого відбивача в перерізі зварного з'єднання, що підвищує точність оцінки дефектності та дозволяє документувати результати контролю в електронному вигляді.

Після завершення неруйнівного контролю виконують пневматичні випробування на герметичність. Для цього апарат заповнюють стисненим повітрям під надлишковим тиском 0,05 МПа, після чого зварні з'єднання покривають мильним розчином. Наявність нещільностей визначають за появою повітряних бульбашок.

Заключним етапом контролю є гідравлічні випробування. Скрубера заповнюють водою та витримують під пробним тиском, який приймають у 1,25–1,5 рази вищим за робочий відповідно до вимог нормативної документації. Під час випробувань контролюють відсутність течії, залишкових деформацій, падіння тиску та інших ознак втрати міцності або герметичності. За позитивних результатів усіх етапів контролю виріб вважається придатним до експлуатації.

2.6 Опис вибраного технологічного процесу виготовлення виробу

Технологічний процес виготовлення скрубера розроблено з урахуванням конструктивних особливостей виробу, прийнятого зварювального обладнання та вимог до посудин, що працюють під тиском. Основною метою технології є забезпечення необхідної міцності, герметичності та довговічності зварних з'єднань при мінімальних витратах матеріалів і трудових ресурсів.

При виготовленні корпусу необхідно забезпечити повне проплавлення стикових з'єднань, плавний перехід від металу шва до основного металу, мінімальний рівень залишкових деформацій та відсутність недопустимих дефектів. Особливу увагу приділяють попередженню утворення тріщин, не-

сплавлень, пористості та інших дефектів, які можуть знижувати надійність виробу під час експлуатації.

Технологічна послідовність виготовлення скрубера включає такі основні операції:

- розкрій листового прокату та підготовку заготовок;
- механічну обробку та підготовку кромek під зварювання;
- вальцювання листів і формування обичайок;
- складання та зварювання поздовжніх стикових швів обичайок;
- складання корпусу із окремих обичайок;
- зварювання кільцевих стикових швів корпусу;
- встановлення днищ;
- приварювання штуцерів, патрубків, люків та інших елементів арматури;
- контроль якості зварних з'єднань;
- пневматичні та гідравлічні випробування.

Після підготовки кромek виконують складання поздовжніх стиків обичайок. Для забезпечення необхідної геометрії застосовують складальні пристрої та прихватки, розташовані рівномірно по довжині стику. Поздовжні шви обичайок виконують автоматизованим MAG-зварюванням у середовищі вуглекислого газу із застосуванням автоматичної головки ESAB A2SG J1 4WD та джерела живлення ESAB Aristo 500ix. Після зварювання здійснюють зачищення шва та візуальний контроль його якості.

Готові обичайки збирають у корпус скрубера та встановлюють на роликовий обертач. Зварювання кільцевих стикових швів виконують автоматизовано у середовищі CO₂ за допомогою пересувного порталу із встановленою зварювальною головою. Обертання виробу забезпечує стабільне положення зварювальної ванни та рівномірне формування шва по всьому периметру з'єднання.

Після завершення зварювання корпусу виконують монтаж штуцерів, патрубків, опор, люків та внутрішніх елементів. Приварювання арматури здійснюють механізованим MAG-зварюванням із використанням захисної газової суміші CORGON® 18 (82 % Ar + 18 % CO₂), що забезпечує покращене формування шва та зменшення розбризкування металу під час виконання коротких і просторових швів.

Після завершення складально-зварювальних робіт проводять візуально-вимірювальний контроль, кольоровий капілярний контроль та ультразвуковий контроль відповідальних стикових з'єднань. Для виявлення внутрішніх дефектів використовується ультразвуковий дефектоскоп HARFANG WAVE.

На завершальному етапі виконують пневматичні випробування на герметичність із застосуванням стисненого повітря та мильного розчину, після чого проводять гідравлічні випробування пробним тиском відповідно до вимог нормативної документації. За позитивних результатів контролю та випробувань скрубера вважається придатним до експлуатації.

3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розрахунок зварювального візка

Несуча конструкція зварювального візка велосипедного глгольного чи порталного є встановленим на шасі колону або декілька колон з підйомно-висувною консоллю або встановленою балкою на кінці якої підвішено зварювальний апарат. До такої несучої конструкції висуваються вимоги не тільки міцності але і жорсткості пружна деформація несучої конструкції не повинна викликати відхилення кінця електроду по вертикалі та по горизонталі більше ніж ця деформація є постійною. у розрахунку знаходять найбільший згинальний момент та проводять перевірку міцності штанги та колони. при цьому враховують момент опору перерізу штанги або колони. Розрахунок на жорсткість конструкції перевірку допустимих відхилень електроду по вертикалі та горизонталі. При цьому враховують не лише величину відхилення електроду При згині балки але і закручування балки якщо центр зварювального апарата ексцентричний по відношенню до поперечного січення балки. як правило у існуючих конструкціях запас міцності та умови жорсткості виконуються якщо зварювальний апарат невеликої ваги Розрахунки проводяться за відомою методикою підручника Севбо П.І. Конструювання та розрахунок механічного зварювального устаткування, [26], та зводяться у таблицю.

Портальний візок розглядають як плоску порталну раму, що складається з двох стояків і ригеля коробчастого тонкостінного перерізу. Розрахунок виконується для визначення геометричних характеристик перерізів, власної ваги елементів, згинальних моментів у ригелі та стояках, а також для перевірки міцності несучих елементів і ходової частини.

У методиці приймають, що ригель жорстко з'єднаний зі стояками, тому згинальні моменти визначаються з урахуванням співвідношення жорсткостей ригеля і стояків.

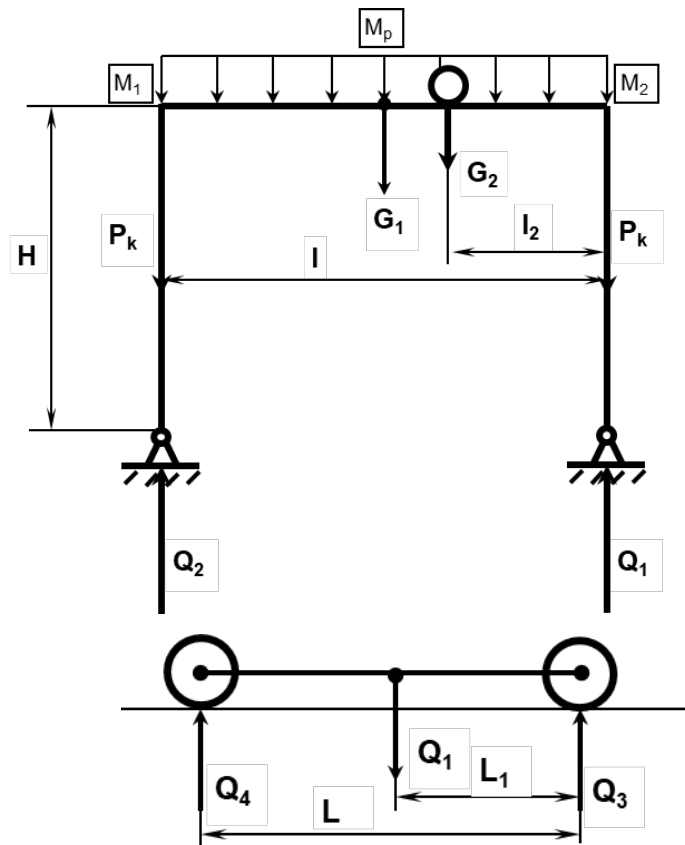


Рисунок 3.1 – Схема для розрахунку візка

- Вихідні дані**

l — проліт ригеля, см;

H — висота порталного візка, см;

b_c, h_c, δ_c — відповідно ширина, висота і товщина стінки перерізу стояка, см;

b_p, h_p, δ_p — відповідно ширина, висота і товщина стінки перерізу ригеля, см;

G_2 — вага встановленого обладнання, Н;

l_2 — відстань від центра ваги обладнання до правої колони, см;

$[\sigma]$ — допустиме напруження на згин, МПа.

- **Геометричні характеристики стояка**

Момент інерції стояка коробчастого тонкостінного перерізу визначають за формулою:

$$I_c = (\delta_c \cdot h_c^3 / 6) \cdot (3b_c/h_c + 1), \text{ см}^4.$$

Площа поперечного перерізу стояка:

$$F_c = 2\delta_c(b_c + h_c), \text{ см}^2.$$

Вага одного стояка:

$$P_k = 7,8 \cdot F_c \cdot H / 100, \text{ Н}.$$

Момент опору стояка відносно небезпечної осі згину:

$$W_c = (\delta_c \cdot h_c^2 / 3) \cdot (3b_c/h_c + 1), \text{ см}^3.$$

- **Геометричні характеристики ригеля**

Момент інерції ригеля:

$$I_p = (\delta_p \cdot h_p^3 / 6) \cdot (3b_p/h_p + 1), \text{ см}^4.$$

Площа поперечного перерізу ригеля:

$$F_p = 2\delta_p(b_p + h_p), \text{ см}^2.$$

Вага ригеля:

$$G_1 = 7,8 \cdot F_p \cdot l / 100000, \text{ кН}.$$

Момент опору ригеля:

$$W_p = (\delta_p \cdot h_p^2 / 3) \cdot (3b_p/h_p + 1), \text{ см}^3.$$

- **Визначення згинальних моментів у порталній рамі**

Для врахування жорсткості стояків і ригеля вводять безрозмірний коефіцієнт:

$$\alpha = I_p H / (I_c l).$$

Згинальний момент на лівому кінці ригеля визначають за формулою:

$$M_1 = \{[3l^2 G_1 / 4 + 3(1-l_2)l_2 G_2 / 1000] / [2(3+2\alpha)l]\}, \text{ кН} \cdot \text{см}.$$

Згинальний момент у перерізі під вантажем:

$$M_2 = \{[(3+4\alpha)l^2 G_1 / 4 + (3+4\alpha)(1-l_2)l_2 G_2 / 1000] / [2(3+2\alpha)l]\}, \text{ кН} \cdot \text{см}.$$

Якщо вантаж розташований симетрично відносно стояків, момент на правому кінці ригеля приймають рівним моменту на лівому кінці. У

загальному випадку його визначають аналогічно з урахуванням фактичного положення вантажу.

- **Перевірка міцності ригеля і стояків**

Максимальне напруження згину в ригелі визначають за найбільшим моментом у ригелі:

$$\sigma_p = M_2 / W_p, \text{ кН/см}^2.$$

Умова міцності ригеля:

$$\sigma_p \leq [\sigma].$$

Напруження згину у стояку визначають за моментом у вузлі з'єднання стояка з ригелем:

$$\sigma_c = M_1 / W_c, \text{ кН/см}^2.$$

Умова міцності стояка:

$$\sigma_c \leq [\sigma].$$

Для порівняння з допустимим напруженням у МПа використовують співвідношення: $1 \text{ кН/см}^2 = 10 \text{ МПа}$.

Після перевірки несучих елементів визначають навантаження, що передається на ходові колеса та перевіряють умови контактної міцності.

Таблиця 3.1 - Результати розрахунку порталного візка

Вихідні дані для розрахунку	Значення
Проліт ригеля, l, см	1100
Висота порталного візка, H, см	300
Ширина стійки, см	10
Висота стійки, см	30
Товщина листа стійки, см	0,6
Ширина ригеля, см	5
Висота ригеля, см	30
Товщина листа ригеля, см	0,8

Вага обладнання, G_2 , Н	50000
Відстань до правої колони, l_2 , см	150
Допустиме напруження на згин, $[\sigma]$, МПа	160

Результати розрахунку порталного візка на міцність

Момент інерції стійки, I_c , см^4	2000,00
Площа перерізу стійки, F_c , см^2	36,00
Вага стійки, P_k , Н	842,40
Момент опору стійки, W_c , см^3	200,00
Момент інерції ригеля, I_r , см^4	5400,00
Площа перерізу ригеля, F_r , см^2	56,00
Вага ригеля, G_1 , кН	4,80
Момент опору ригеля, W_r , см^3	360,00
Згинальний момент на лівому кінці ригеля, M_1 , кН·см	2615,38
Згинальний момент під вантажем, M_2 , кН·см	5183,21
Максимальні напруження в ригелі, σ_{zg} , кН/см ²	14,40
Максимальні напруження у стійці, σ_{zg} , кН/см ²	13,08

Висновок: ригель та стійка витримують задані навантаження

Розрахунок ходової частини візка

Вага порталного візка, кН	1690
Відстань від переднього колеса до центру візка, L_1	100
Відстань між колесами, L см	200
Коефіцієнт, що враховує режим роботи, k_f	1,05
Коефіцієнт нерівномірності навантаження по шири-	1,2
Ширина обода колеса, h см	2
Модуль пружності обода колеса, кН/см ²	20000
Модуль пружності головки рейси, кН/см ²	21000
Радіус колеса, r см	8
Твердість обода колеса, H_B МПа	2400

Результати розрахунку

Навантаження на колеса правої стійки, Q_1 , кН	894,80
Навантаження на колеса лівої стійки, Q_2 , кН	894,80
Навантаження на переднє колесо, Q_3 , кН	447,40
Навантаження на заднє колесо, Q_4 , кН	447,40
Ефективне контактне напруження, $\sigma_{\text{ел}}$	145,39
Допустиме контактне напруження, $[\sigma_c]$, кН/см ²	408,00

Висновок: напруження в лінійному контакті менше допустимих

Отже, якщо розрахункові напруження у ригелі, стояках і в зоні контакту коліс не перевищують допустимих значень, конструкція порталного візка вважається працездатною за умовами міцності.

3.2 Розрахунок роликового обертача

Одним з основних пристроїв складально-зварювальної оснастки є роликовий обертач, рис. 3.2. У даному проекті використовується роликовий обертач з перекидними роликоопорами, рис. 3.3-3.4, для швидкої переналадки установки на інший розмір виробу. Роликовий обертач забезпечує надання обертового руху виробу при зварюванні кільцевих зварних швів з необхідною швидкістю. Роликові опори і приводні, і холості є уніфіковані і їх випускають серійно. Їх кількість та відстані між ними розраховують з врахуванням масу, діаметру виробу, кута розпору, діаметрів валів. Також проводять розрахунок потужності електроприводу.

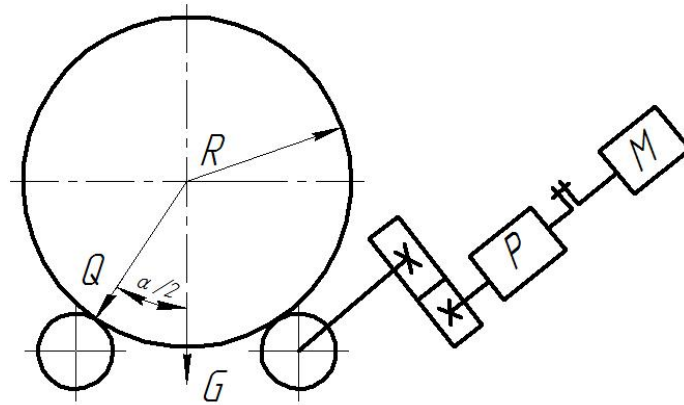
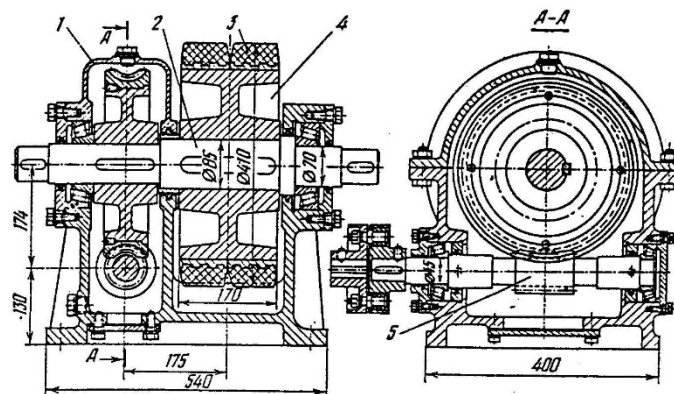


Рисунок 3.2 – Схема роликового обертача



1 – корпус редуктора; 2 – вал; 3 – грузошина; 4 – ролик; 5 – черв'як

Рисунок 3.3 - Привідна роlikоопора

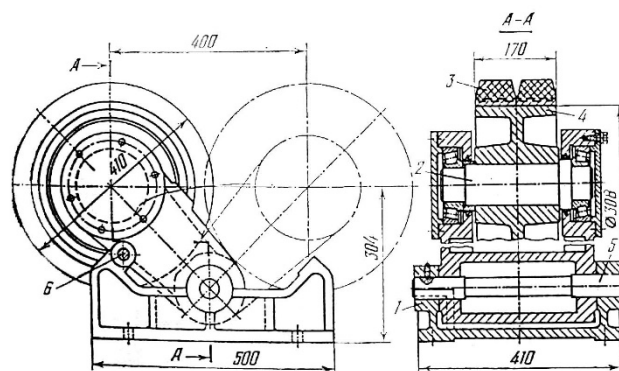


Рисунок 3.4 Холоста роlikоопора

1 – основа; 2 – вісь ролика; 3 – гумова грузошина; 4 – ролик;
5 – вісь шарніру; 6 – фіксатор

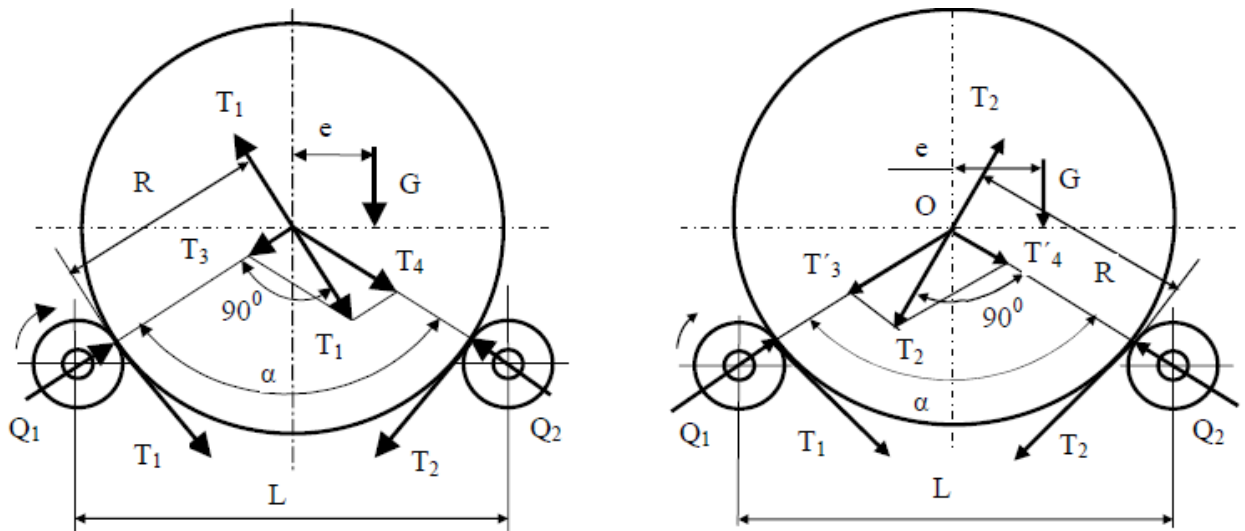


Рисунок 3.5 – Схема для розрахунку реакцій опор роликового обертача

Розрахунки ведемо за методикою Карпенка [27]. Прийmemo наступні дані: роликові опори по три в ряді з розмірами $D_p = 410$ мм та з ходом осей 400 мм, діаметр виробу 1200 мм, черв'ячне колесо на $28,8$ см, d_p діаметр вала на підшипник; коефіцієнти тертя $f = 0,02$, для сталі $\mu = 0,08$, для гуми $\mu = 0,35$, для роликів серії Т30: $D_p = 41$, $d_p = 7$ (см),

Основні залежності для розрахунків, рис. 3.5, відповідно методики [25]:

$$T_1 = G \left(E + \frac{E \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{b \sin \alpha + \cos \alpha - 1} \right), \quad b = \frac{D_p}{f d_p + 2 \mu}$$

$$T_2 = G \frac{E + \sin \frac{\alpha}{2}}{b \sin \alpha + \cos \alpha - 1}, \quad Q_1 = \frac{G}{2 \cos \frac{\alpha}{2}} \cdot \left(1 - \frac{E \cdot \cos \alpha}{\sin \frac{\alpha}{2}} + \frac{E + \sin \frac{\alpha}{2}}{b \cdot \cos \frac{\alpha}{2} - \sin \frac{\alpha}{2}} \right)$$

$$Q_2 = \frac{G}{2 \cos \frac{\alpha}{2}} \cdot \left(1 + \frac{E}{\sin \frac{\alpha}{2}} + \frac{E + \sin \frac{\alpha}{2}}{b \cdot \cos \frac{\alpha}{2} - \sin \frac{\alpha}{2}} \right)$$

$$P_1 = \frac{\sqrt{Q_1^2 + T_1^2}}{i_p} k_p, \quad P_2 = \frac{\sqrt{Q_2^2 + T_2^2}}{i_p} k_p,$$

Графічні схеми та епюри навантаження приведено на рисунках 3.6-3.7. Самі розрахунки ведемо за допомогою програми Excel. Результати зведені до таблиці 3.2-3.3.

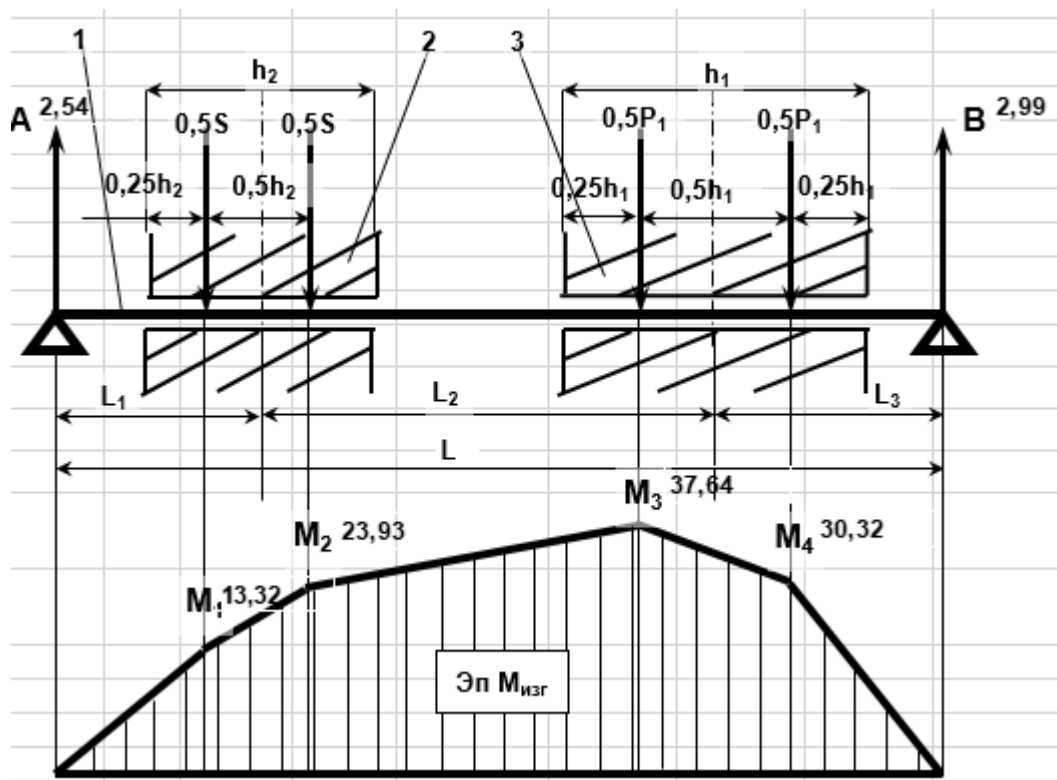


Рисунок 3.6 – Схема розрахунку привідного валу

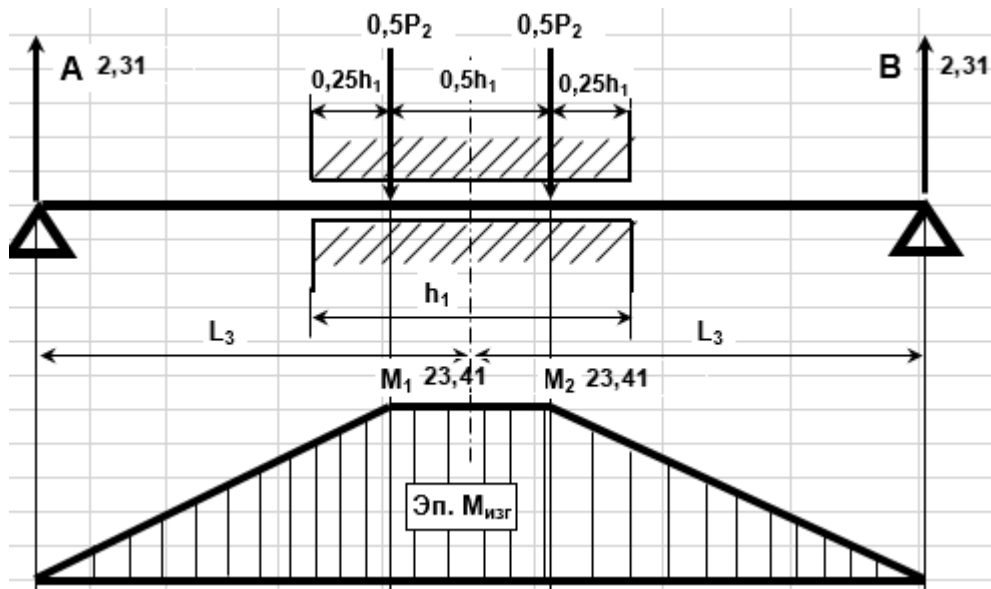


Рисунок 3.7 – **Схема розрахунку холостого ролика**

Таблиця 3.2 – Вихідні дані розрахунку конструкції роликового стелу

Параметр	Значення
1. Мінімальний діаметр ємності, $D_{\min}$, мм	1200
2. Максимальний діаметр ємності, $D_{\max}$, мм	1200
3. Діаметр ролика, D_r , мм	410
4. Мінімальний центральний кут, град	50
5. Максимальний центральний кут, град	120
6. Ексцентриситет, e , мм	100
7. Маса цистерни, кг	1570
8. Коефіцієнт тертя в підшипниках роликових опор, f	0,02
9. Діаметр осі ролика в підшипнику, d_p , см	7,00
10. Коефіцієнт тертя кочення, m , см	0,30
11. Кількість роликових опор в одному ряду, i_p	3
12. Коефіцієнт нерівномірності розподілу навантаження на ролик, K_p	1,3
13. Допустиме напруження для вала, кг/см^2	550,00
14. Частота обертання вала при маршовій швидкості, об/хв	10,00
15. ККД привідного електродвигуна	0,40
16. Коефіцієнт зчеплення ролика з виробом	0,35

Таблиця 3.3 – Розраховані конструктивні параметри ролиового стану

Результати розрахунку роликоопор

Параметр	Значення
Відстань між роликоопорами, L_{min} , мм	680
Відстань між роликоопорами, L_{max} , мм	1394
Прийнята відстань між роликоопорами, L , мм	1037
З урахуванням перекидної роликоопори, L_{min} , мм	637
З урахуванням перекидної роликоопори, L_{max} , мм	1437
Мінімальний діаметр ємності, мм	326
Максимальний діаметр ємності, мм	2991
Дисбаланс	0,041666667
Стала величина, b	55,4
Кут для розрахункової ємності виробу, град	80,2
Окружне зусилля на приводних роликах, T_1 , Н	854,5
Окружне зусилля для холостої роликоопори, T_2 , Н	200,3
Опорна реакція приводної роликоопори, Q_1 , Н	10320,9
Опорна реакція холостої роликоопори, Q_2 , Н	11097,3
Максимальне навантаження на одну приводну роликоопору, P_1 , Н	4315,1
Максимальне навантаження на одну холосту роликоопору, P_2 , Н	4624,6
Приводна роликоопора	РП-0,5
Перекидна холоста роликоопора	РХП-0,5

Розрахунок вала приводної роlikоопори

Параметр	Значення
Діаметр початкового кола черв'ячного колеса, d_1 , см	28,8
Найбільше зусилля в черв'ячному колесі, S_{SS} , Н	1216
Крутний момент на валу, $M_{кр} M_{\{кр\}} M_{кр}$, кН·см	21,35
Еквівалентний розрахунковий момент, $M_{екв} M_{\{екв\}} M_{екв}$, кН·см	43,27
Розрахунковий діаметр вала, см	4,28
Необхідна потужність на приводному валу, кВт	0,22
Необхідна потужність привідного електродвигуна, кВт	0,55
Запас зчеплення приводного ролика з виробом	4,23

Розрахунок вала холостої роlikоопори

Параметр	Значення
Допустиме напруження на згин, кН/см ²	14
Розрахунковий діаметр вала, см	2,57

Згідно з проведенням розрахунку роlikового стенда приймаємо приводну роlikову опору РП-0,5 та перекидну холосту роlikову опору РХП-0,5. Максимальне навантаження на одну приводну роlikоопору становить 4,32 кН, на холосту — 4,62 кН, що не перевищує номінального допустимого навантаження 5,0 кН. Розрахунковий діаметр вала приводної роlikоопори становить 42,8 мм, тому конструктивно приймаємо діаметр 50 мм з урахуванням встановлення шпонок. Необхідна потужність привідного електродвигуна становить 0,55 кВт. Розрахунковий діаметр вала холостої роlikоопори становить 25,7 мм, тому конструктивно приймаємо діаметр 50 мм.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Дія електромагнітного випромінювання на організм людини

Вплив електромагнітних полів (ЕМП) на організм людини залежить від щільності потоку енергії, частоти випромінювання, тривалості впливу, режиму опромінення, розмірів опромінюваної поверхні тіла, індивідуальних особливостей організму.

В зоні впливу ЕМП людина зазнає теплового та біологічного впливу. У джерел ЕМП розрізняють ближню (індукційну) та дальню (випромінювальну) зони впливу. Внаслідок цього одна зі складових поля набагато менша, ніж інша. У таких джерел ЕМП при впливі на навколишнє середовище слабо виражена магнітна складова напруженості. Тому в 5–8 діапазонах частот ЕМП оцінюється за електричною складовою напруженості поля E , В/м. В дальній зоні на відстанях ЕМП сформувалось, тому тут виражені обидві його складові – електрична та магнітна, тому в 10–11 діапазонах частот ЕМП оцінюється поверхневою густиною потоку енергії (ПГЕ), яка виражається одиницею вимірювання Вт/м^2 ($1 \text{ Вт/м}^2 = 0,1 \text{ мВт/см}^2 = 100 \text{ мкВт/см}^2$). Нормування електромагнітних випромінювань радіочастотного діапазону здійснюється згідно ДСН 239-96 «Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань».

Зміна ЕМП викликає нагрівання тканин тіла людини за рахунок змінної поляризації діелектрика (хрящі, сухожилля тощо) та за рахунок появи струмів провідності. Тепловий ефект є наслідком поглинання енергії ЕМП.

Надлишкове тепло, яке виділяється в організмі людини, відводиться за рахунок функціонування механізму терморегулювання. Однак, починаючи з певної межі, організм не забезпечує відведення тепла від окремих органів і тому підвищується температура тіла. Перегрівання особливо негативно від-

бивається на тканинах зі слабо розвиненою судинною системою або з недостатнім кровообігом (очі, мозок, нирки, шлунок, жовчний та сечовий міхурі).

Опромінення очей викликає каламутність кришталика (катаракта) та втрату зору. Це може відбуватися у випадку надвисокочастотного опромінення при ПГЕ > 10 мВт/см².

Тривалий вплив радіохвиль помірної інтенсивності при ПГЕ < 1 мВт/см² не створює теплового впливу, який може викликати функціональні зміни в центральній нервовій системі та в серцево-судинній системі. Виникають також головний біль, швидка втома, погіршення самопочуття, зміни тиску, зміни провідності серцевого м'яза, нервово-психічні розлади. Спостерігаються також трофічні розлади: схуднення, випадання волосся, ламкість нігтів, зміни складу периферійної крові. Ці зміни мають оборотний характер на ранній стадії. Тривалий вплив ЕМП супроводжується фізіологічною адаптацією або послабленням імунологічних реакцій.

Лінії електропередач напругою до 1150 кВ, відкриті роздільні пристрої, до складу котрих входять комунікаційні апарати, пристрої захисту та автоматики, вимірювальні прилади є джерелами електричних полів промислової частоти. Тривалий вплив таких полів знаходить прояв через суб'єктивні розлади (неврози, головний біль у скронях та в потилиці, відчуття в'ялості, розлади сну, погіршення пам'яті, дратівливість, апатія, депресія, серцевий біль, функціональні порушення центральної нервової системи, серцево-судинної системи, зміни складу периферійної крові тощо).

В зв'язку з цими змінами необхідно обмежувати час перебування людей в зоні впливу електричного поля, створюваного струмами промислової частоти напругою понад 400 кВ.

4.2 Шляхи забезпечення працездатності і підвищення продуктивності праці

Істотну роль у збереженні працездатності і підвищенні продуктивності праці зварника відіграють такі пристрої для удержування та переміщення зварюваних виробів, як кондуктори, кантувачі, маніпулятори, струбцини, затискачі.

До заходів, спрямованих на поліпшення умов праці зварників належать:

автоматизація, механізація і раціоналізація виробничого процесу; захист очей від променистої енергії; видалення пилу і газів з робочих приміщень за допомогою вентиляції; заходи безпеки від ураження електричним струмом.

Освітленість виробничих приміщень - важливий захід гігієни та охорони праці і підвищення її продуктивності [28, 29]. У виробничих приміщеннях застосовують два види освітлення: природне і штучне.

Застосування механізованого транспорту для перевезення важких деталей і надання їм зручного для зварювання положення не тільки полегшує працю зварника, а й зменшує виробничий травматизм, підвищує продуктивність праці.

Електрична дуга випромінює велику кількість невидимих ультрафіолетових і інфрачервоних променів, які шкідливо впливають на зір і шкіру людини. Опіки променями електричної дуги можуть відбуватися тільки при зварюванні відкритою дугою (наприклад ручне дугове зварювання, зварювання в CO_2 і т.д.). Шкіра зварювальника захищається робочим одягом, а зір – захисними щитками або масками із спеціальним темно-синім склофільтром.

Щоб запобігти механічному пошкодженню очей при прибиранні флюсу і відбиванні шлаку зварювальник повинен користуватися захисними окулярами з простим склом. При опіках очей необхідно робити холодні примочки, промивати очі слабким содовим розчином. При сильних опіках необхідно звернутися до лікаря [28].

В результаті високої температури зварювальної дуги відбувається випаровування металів. Пари металів з'єднуються з киснем повітря, утворюючи дрібний порошок в вигляді окислів. Особливо шкідливі пари окислів цинку, свинцю, кадмію, міді та інші, які утворюються при зварюванні міді, латуні і бронзи. В результаті плавлення деяких флюсів утворюються пари окислів марганцю, а також хлористий і фтористий водень.

При зварюванні в вуглекислому газі виділяється шкідливий для організму оксидами вуглецю (чадний газ). Оскільки вуглекислий газ в 1,5 рази важчий за повітря, то він може накопичуватися в тісних приміщеннях і закритих посудинах, що приводить до браку кисню для дихання.

Для відведення шкідливих газів та пилу, а також для подачі свіжого повітря застосовують загальну або місцеву вентиляцію. Загальна вентиляція повинна бути приточно-витяжною з підігрівом повітря в зимову пору. Її застосовують для обміну повітря в закритих приміщеннях (цехах, майстернях...). Місцеву вентиляцію застосовують для відсмоктування шкідливих газів безпосередньо з місць їх утворення. При роботі в закритих приміщеннях застосовують засоби індивідуального захисту органів дихання відповідно до вимог чинних нормативних документів.

При отруєннях, потерпілого необхідно винести на свіже повітря, звільнити від тісного одягу і дати спокій до приходу лікаря. При зупинці дихання слід застосувати штучне дихання, [28].

4.3 Заходи дотримання правил електробезпеки при експлуатації обладнання

Експлуатація і будова електроустановок повинні виготовлятися відповідно до вимог Правил улаштування електроустановок (ПУЕ) та НПАОП 40.1-1.21-98 «Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів».

Електротравматизм людини можливий, коли при експлуатації обладнання не виконуються необхідні технічні умови, коли обладнання експлуатується на низькому технічному рівні, коли не виконуються вищенаведені норми.

Електротравматизм - це результат порушення вимог правил техніки безпеки та інструктажів, відсутності технагляду та аварійного режиму роботи електроустановок. Причиною електротравматизму в багатьох випадках є не продумані помилкові дії оперативного обслуговуючого персоналу.

В електроустановках утворюється, перетворюється та використовується електрострум (силові трансформатори, електродвигуни, батареї статичних конденсаторів, повітряні і кабельні лінії, апаратура Провідного зв'язку та ін.).

В електроустановках (до 1000 В) в техніці способи захисту від уражень електрострумом ділять на дві групи:

- захист при дотику до струмопровідних частин;
- захист при дотику до неструмопровідних частин на які перейшла напруга, [29].

Захист від дотику до струмопровідних частин досягається надійною електроізоляцією за допомогою блокування, і пристроїв захисного включення. Доступ людей до струмопровідних частин обмежують влаштуванням захисних огорожень, розташуванням струмопровідних частин на недоступній висоті та в недоступному місці, попереджувальною сигналізацією.

При роботі в електроустановках під напругою застосовують захисні засоби, що ізолюють і відгороджують людину від струмопровідних частин.

В електроустановках та електромережах при експлуатації електрообладнання застосовують наступні захисні заходи:

- контроль і профілактика пошкоджень ізоляції;
- використання малої напруги;
- електричне і механічне блокування, сигналізація і маркування;
- захист від випадкового дотику;

- захисні засоби і запобіжні пристрої;
- захист від переходу високої напруги на сторону низької.

Контроль ізоляції - вимірювання активного і реактивного опорів з метою визначення дефектів попередження короткого замикання на землю.

Блокування з активним способом захисту. Воно попереджує помилкові дії електроперсоналу і перекриває доступ до струмопровідних частин, що ведуться під напругою. При небезпеці ураження струмом установка автоматично виключається.

Основні ізолюючі засоби захисту це такі, ізоляція яких витримує робочу напругу електроустановки, за їх допомогою дозволено обслуговуючому персоналу доторкатися до оголених струмопровідних частин.

В якості пристроїв для світлової, звукової, приладної сигналізації застосовуються: контрольно-вимірювальна апаратура, реле, сигнальні зумери, дзвінки, сирени, різнокольорові лампочки, датчики та приймачі температури, тиску та інших параметрів. Малі напруги істотно зменшують небезпеку ураження струмом, особливо при переході напруги на корпус.

В момент переходу високої напруги в мережу низької в пробивному запобіжнику викликає потенціал 300-500 В, при якому відбувається пробивання повітряного зазору між дисками через отвір слюдяної пластинки. Мережа стає заземленою і автоматично вимикається.

ВИСНОВКИ

Проведено удосконалення технології виготовлення корпусу скрубера для очистки газів. У існуючому техпроцесі використовувалося застаріле радянське неефективне зварювальне устаткування, що приводило до значних втрат електроенергії та матеріалів, вимагало високої кваліфікації робітників.

Для покращення якості зварювальних з'єднань корпусу скрубера товщиною 12 мм із сталі 09Г2С було запропоноване автоматичне зварювання у газовій суміші на основі аргону із зменшеним вмістом вуглекислого газу ($92\% \text{ Ar} + 8\% \text{ CO}_2$) на спеціалізованому порталі з використанням зварювальної головки ESAB A2SG J1 4WD з високою стабільністю подачі дроту. Використання цифрової системи керування процесом зварювання від джерела живлення ESAB Aristo 500ix дозволяє стабілізувати параметри дуги, знизити розбризкування металу, покращити якість формування шва, зменшити вплив людського фактора та забезпечити високу повторюваність результатів та ефективність зварювання, а також покращити геометрію шва та зменшити кількість дефектів. Застосування апарату Fronius TransSteel 5000 покращить якість виконання зварювання елементів насичення та прихваток, зменшить трудоемкість та час зварювання.

Розраховано конструкцію порталного візка та роликового обертача.

Запропоновано методологію контролю на усіх етапах технологічного процесу, підібрано інноваційне обладнання для ультразвукового контролю.

У роботі також проаналізовано вплив електромагнітного випромінювання на організм людини, шляхи продуктивності праці, заходи дотримання правил електробезпеки при експлуатації обладнання.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сталь 09Г2С. [Електронний ресурс] / Метінвест-СМЦ. -Режим доступу: <https://metinvest-smc.com/ua/steel/stal-09g2s>
2. ДСТУ-Н Б А.3.1-32:2015. Настанова щодо монтажу та зварювання посудин, що працюють під тиском, при будівництві будівель та споруд [Електронний ресурс]. – Київ: Мінрегіон України, 2015. – 56 с. – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=63745.
3. НПАОП 0.00-1.81-18. Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском : наказ Міністерства соціальної політики України від 05.03.2018 № 333.
4. Про затвердження Технічного регламенту обладнання, що працює під тиском : Постанова Кабінету Міністрів України від 16 січня 2019 р. № 27. Офіційний вісник України. 2019. № 9. Ст. 313.
5. ДСТУ EN 13445-2:2022. Посудини, що працюють під тиском необігрівані. Частина 2. Матеріали. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.
6. ДСТУ EN 13445-3:2022. Посудини, що працюють під тиском необігрівані. Частина 3. Конструкція. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.
7. ДСТУ EN 13445-4:2022. Посудини, що працюють під тиском необігрівані. Частина 4. Виготовлення. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.
8. ДСТУ EN 13445-5:2022. Посудини, що працюють під тиском необігрівані. Частина 5. Перевірка та випробування. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.
9. ДСТУ EN ISO 15614-1:2019. Технічні умови та атестація технології зварювання металевих матеріалів. Випробування процесів зварювання. Частина 1. Дугове та газове зварювання сталей і дугове зварювання нікелю та нікелевих сплавів. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.
10. ДСТУ EN ISO 9606-1:2018. Кваліфікаційні випробування зварників. Зварювання плавленням. Частина 1. Сталі. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018.

11. ДСТУ EN ISO 5817:2022. Зварювання. Зварні з'єднання, виконані зварюванням плавленням у сталі, нікелі, титані та їх сплавах. Рівні якості щодо недосконалостей. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.
12. ДСТУ EN ISO 17635:2018. Неруйнівний контроль зварних з'єднань. Загальні правила для металевих матеріалів. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018.
13. ДСТУ EN 10028-2:2018 «Вироби плоскі сталеві для посудин під тиском. Частина 2. Нелеговані та леговані сталі з підвищеними температурними властивостями» [Електронний ресурс] / Національний орган стандартизації України. – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79903
14. Зварювальні газові суміші [Електронний ресурс] / Linde Ukraine. – Режим доступу: <https://www.linde.ua/What-We-Offer/Gases/Welding-mixtures>
15. Shanaida V., Skliarov R., Lazaryuk V. Mathematical models for the analysis of the parameters of channels in the planning of mechanical processing and welding operations // Proceedings ITTAP'2023: 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ITTAP 2023), Ternopil, Ukraine, 22–24 Nov. 2023. – CEUR Workshop Proceeding, 2023. V. 3628.
16. Коперсак, В.М. Теорія процесів зварювання [Текст]: Текст лекцій (в двох частинах) / В.М. Коперсак – 4-е вид., випр. і доп. –К.: НТУУ «КПІ».-228 с.
17. Биковський О.Г., Пінковський І.В. Довідник зварника. Київ: Техніка, 2002. 336 с.
18. Риков А.М. Розрахунок та вибір режиму дугового зварювання та параметрів швів зварних з'єднань. – Миколаїв. МКІ, 1980.-41 с.
19. Акулов А.І. Технологія та обладнання зварювання плавленням: Підр. Длі вишів [Текст] / А.І. Акулов, Г.А. Бельчук, В.П. Демянцевич; [Ред. вид. Т.Е. Черешнева]. - М.: Машинобудування, 1977. - 432 с.

20. Лебедєв В. О., Половецький Є. В., Гаврилюк В. П., Книш В. В. Інноваційна техніка і технології для електродугового механізованого та автоматизованого зварювання : монографія. Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2024. 352 с. URL: <https://ir.stu.cn.ua/bitstreams/847f3ac6-a1c6-44ed-9a23-89c0d1fc0560/download> (дата звернення: 24.06.2026).
21. ESAB AB. *A2 Welding Heads. Instruction Manual for A2SF J1, A2SF J1 Twin, A2SG J1 and A2SG J1 4WD* [Electronic resource]. – Available at: <https://manuals.plus/m/0852ce74244f603d21b2ed97957012b4966880c125ab1a94e4dbe94963bd5488>
22. ESAB AB. Aristo® 500ix. Instruction Manual [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://expressweldcare.co.uk/wp-content/uploads/2023/11/ESAB-Aristo-500ix-MIG-TIG-Stick-Welder-0446200880-Instruction-Manual.pdf>
23. Системи Transsteel. [Електронний ресурс] / Fronius. Режим доступу: <https://www.fronius.com/uk-ua/ukraine/zvaryvalni-tekhnohiiyi/produkty/%D1%80%D1%83%D1%87%D0%BD%D0%B5-%D0%B7%D0%B2%D0%B0%D1%80%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F/migmag/transsteel/transsteel/transsteel-5000>
24. Зварювальний пальник Fronius AW 5000. [Електронний ресурс] / pz.ua / Режим доступу: <https://pz.ua/migmag/palniki/aw5000wf-l-45m-4035605000-fronius.html>
25. Ультразвуковий дефектоскоп серії SiteScan 250 / Sonatest . – Режим доступу: http://sonatest.com.ua/index.php?option=com_content&task=view&id=11&Itemid=39
26. Севбо П.П. Конструювання та розрахунок механічного зварювального обладнання – Київ, Наук. Думка, 1978. -400 с.
27. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві / 2-е видан-ня, перобл. та доповн.: Навч. посібник / А.С. Карпенко. – К.: Арістей, 2006. – 272 с.

28. Правила охорони праці під час зварювання металів [Електронний ресурс] / Міністерство надзвичайних ситуацій України. — Київ, 2012. — 85 с. — Затв. наказом МНС України від 14.12.2012 № 1425. — Зареєстровано в Мін'юсті України 04.01.2013 за № 63/22595. — Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0063-13#Text>.
29. Левченко О.Г. *Охорона праці у зварювальному виробництві*. — Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. — 181 с.