

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему:

**“ Обґрунтування впливу режимів механізованого зварювання на  
якісні параметри зварних швів ”**

Виконав: студент V курсу, групи Маш-51

Спеціальності 133 Галузеве машинобудування  
(шифр і назва)

Орест ГАВРИЛЯК  
(Ім'я та прізвище)

Керівник: к.т.н. доцент Олексій ШВЕЦЬ  
(Ім'я та прізвище)

Дубляни 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри \_\_\_\_\_

(підпис)

д.т.н., професор Власовець В.М.

“28” квітня 2023 р.

### ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту  
Гавриляку Оресту Миколайовичу

1. Тема роботи: «Обґрунтування впливу режимів механізованого зварювання на якісні параметри зварних швів»

Керівник роботи: Швець Олексій Петрович, к.т.н., доцент

Затверджена наказом по університету від 28.04.2023 року № 133/к-с

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 15.01.2024 року

3. Вихідні дані: Літературні джерела за тематикою кваліфікаційної роботи; Технічні характеристики та інструкції з експлуатації зварювальних пів-автоматів; Галузеві стандарти; Методики розрахунку технологічних процесів зварювання; Інструкції з охорони праці; Методики техніко економічного обґрунтування технологій; Інша навчально методична література.

4. Перелік питань, які необхідно розробити:

1. Стан питання та задачі досліджень;

2. Технологічна частина;

3. Методика та результати дослідження;

4. Охорона праці;

5. Економічний розділ;

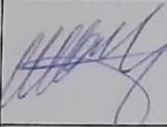
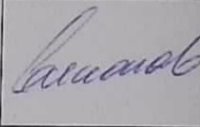
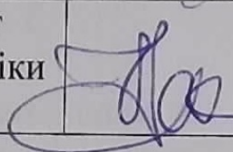
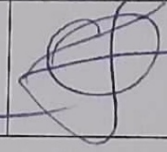
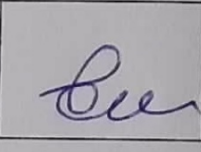
Висновки і пропозиції;

Бібліографічний список.

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

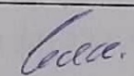
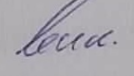
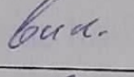
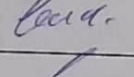
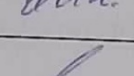
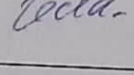
Ілюстративний матеріал представити у вигляді презентації у застосунку Microsoft PowerPoint: характеристика зварювального апарату Fronius TPS 320, огляд різних режимів зварювання які доступні в зварювальному апараті Fronius TPS 320i; інструкція з підготування і налаштування зварювального апарату Fronius серії TPSi, теоретичний розрахунок режимів зварювання, графік залежності сили струму від товщини матеріалу, рисунки виконання дослідницької роботи, економічні показники різних процесів зварювання.

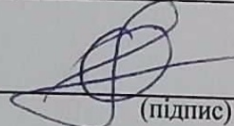
6. Консультанти розділів роботи

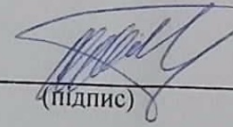
Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1,2,3,5	Швець О.П. к.т.н., доц. кафедри машинобудування			
4	Городецький І.М., к.т.н., доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва			

7. Дата видачі завдання: 28.04.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1.	Виконання розділу: «Стан питання та задачі досліджень»	28.04.23- 15.06.23	
2.	Виконання другого розділу: «Технологічна частина»	16.06.23- 15.08.23	
3.	Виконання розділу: «Методика та результати дослідження»	16.08.23- 08.11.23	
4.	Виконання розділу: «Охорона праці»	09.11.23- 11.12.23	
5.	Виконання розділу: «Економічний розділ»	12.12.23- 3.01.24	
6.	Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки. Завершення роботи в цілому	4.01.24- 15.01.24	

Студент  (підпис) Орест ГАВРИЛЯК

Керівник роботи  (підпис) Олексій ШВЕЦЬ

## ЗМІСТ

ВСТУП	5
1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ	6
1.1 Опис зварювання MIG/MAG	6
1.2 Процеси MIG/MAG зварювання від фірми FRONIUS	9
1.3 Загальні відомості про зварювальний апарат Fronius TPS/i.	12
1.4 Параметри оцінки якості зварювання	15
1.5 Постановка завдання.	20
2.ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	21
2.1 Характеристика таврових швів	21
2.2 Характеристика зварюваних матеріалів	21
2.3 Характеристика зварювальних матеріалів (дріт)	23
2.4 Характеристика захисних газів	24
2.5 Розрахунок режиму зварювання	28
3. МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ	34
3.1 Підготовка апарата до роботи	34
3.2 Методика налаштування зварювального апарату на задані режими роботи	43
3.3 Техніка виконання зварних з'єднань	49
3.4 Методика оцінки процесу зварювання	53
3.5 Результати дослідження	54
3.6 Висновки за розділом	59
4. ОХОРОНА ПРАЦІ	60
4.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих чинників	60
4.2 Шляхи покращення безпеки праці	64
4.3 Моделювання процесу формування і виникнення травмонебезпечної ситуації під час зварювання	71
5. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	74
5.1 Нормування механізованого зварювання	74
5.2 Визначення собівартості зварювання деталі	76
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	81
БІБЛОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	83

## ВСТУП

В даний час розвитку нашої держави дуже бурхливий ріст підприємств в яких зварювання це не від'ємний процес виробництва. Тому своєю кваліфікаційною роботою ми би хотіли дослідити дане питання яке винесено в мої роботі, для покращення, пришвидшення, автоматизації зварювального процесу.

Будучи на практиці я своїми очами бачив весь процес зварювання. Проблемою більшість малих підприємств є те що в них відсутній інженер зі зварювання, тому зварювальник повинен сам уміти налаштовувати зварювальний апарат, що не завжди і не в усіх виходить правильно.

Для інженерів які працюють в умовах машинобудівних підприємств часто складним є знайти чіткі рекомендації що до налаштування зварювальних апаратів та ефективного їх використання в технологічних процесах зварювання. Тому, в кваліфікаційній роботі ми пропонуємо результати обґрунтування впливу режиму і параметрів процесу механізованого зварювання на якість зварних з'єднань.

Отримані в роботі результати можуть встати чіткими технологічними рекомендаціями, завдяки яким може бути підвищена якість виробленої продукції, зменшено собівартість виробництва, підвищено ефективність використання обладнання та досягнута необхідна конкурентна спроможність виробленої продукції не тільки в Україні а й на закордонних ринках.

# 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

## 1.1 Опис зварювання MIG/MAG

Зварювання MIG/MAG це – процес електродугового зварювання в середовищі інертних газів (MIG “Metal Inert Gas”), і в середовищі активних газів (MAG “Metal Active Gas”).

На даний момент зварювання MIG/MAG завоювало популярність на підприємствах завдяки своїй простоті, універсальності та швидкості зварювання. Цей процес можна виконувати як вручну так і механізовано або автоматизовано завдяки робототехніці.

При зварюванні MIG/MAG зварювальний дріт подається по зварювальному рукаву до матеріалу. При доторканні до нього запалюється зварювальна електрична дуга. Для захисту зварювального шва використовується захисний газ, який починає подаватися разом або за певний проміжок часу ще до того, як починає подаватися зварювальний дріт. Цей газ витісняє повітря із зварювальної ванни і таким чином запобігає окисненню шва та стабілізує зварювальну дугу.

У зварюванні MAG використовуються активні гази, такі як чистий CO<sub>2</sub> або суміш газів (аргон, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>) у різноманітних пропорціях. Процес MAG використовується для нелегованих, низьколегованих і високолегованих матеріалів.

З іншого боку, у зварюванні MIG використовуються інертні, тобто неактивні, гази, такі як чистий аргон і гелій або суміші аргону й гелію. Процес підходить для таких зварювальних матеріалів, як алюміній, мідь, магній і титан.

Переваги процесу MIG/MAG зварювання:

- Легкість в освоєнні і використанні.
- Низька вартість зварювального дроту.
- Легкий підпал електричної дуги.
- Висока швидкість зварювання і наплавлення.

- Легкість в впровадженні в механізованому або в роботизованому зварюванні.



Рисунок 1.1 - Структура системи для MIG/MAG зварювання:

- 1 - підключення до електромережі; 2 - джерело живлення; 3 - шланговий пакет;
- 4 - кабель маси; 5 - зварювальний пальник; 6 - клемма маси; 7 - деталь; 8 - зварювальний дріт; 9 - захисний газ.

До недоліків процесу MIG/MAG зварювання можна віднести:

- Вимагає дуже високого рівня очищення від іржі вологи та інших домішок поверхні матеріалу.
- При зварюванні на відкритих і наскрізних приміщеннях можливе здування потоку захисного газу який призводить до дефектів зварювального шва.

При процесі зварювання MIG/MAG застосовуються декілька типів зварювальних дуг.

Дуга короткого замикання (Дрібно-крапельний перенос металу) виникає при малих значеннях струму від 30 ампер до 100-110 ампер для зварювального дроту 0,8 мм, 140-150 ампер для дроту 1-1,2 мм. Вона утворюється при контакті

присадки до матеріалу при цьому виникає коротке замикання на дуже малий проміжок часу, при якому дріт розплавляється утворюючи краплю металу яке переноситься в зварювальну ванну. Дана дуга дозволяє проводити зварювання в різних положеннях, але найбільше розповсюдження отримала при зварюванні тонких металів та при зварюванні корневих швів. При цьому процесі утворюються дрібні окалини.

Проміжна дуга «globular transfer» характеризується переносом велико крапельним переносом металу. При даному типі дуги виникає дуже велика кількість великих окалини які попадають на зварювальну деталь і які дуже важко забрати. Тому потрібно уникнути використання її. Даний тип дуги виникає при струмах для зварювального дроту 0,8 150 ампер і до 210 ампер, для дроту 1,0 мм від 170 і до 220 ампер, для дроту 1,2 мм від 180 ампер і до 250 ампер.

Струменева дуга горить постійно без коротких замикань не утворюючи окалини. Виникає дана дуга на високих значеннях струму, що сприяє зварюванню товстих металів. Даний тип дуги дозволяє досягти глибокого проплавлення та високу швидкість зварювання. Струменеве перенесення металу можливо лише при використанні зварювальних сумішей, при використанні чистого вуглекислого газу завжди буде проміжна дуга, навіть якщо ми будемо збільшувати ампераж.

Імпульсна дуга використовується для заміщення проміжної дуги. Імпульсна зварювальна дуга складається з основної фази струму низької потужності та фази імпульсного струму високої потужності без коротких замикань. При застосуванні даної дуги практично не утворюються бризки. У процесі імпульсного струму краплі зварювання цілеспрямовано відриваються завдяки використанню точно дозованого імпульсного струму.

Ротаційна дуга схожа до струменевої але в ній перехід крапель металу у зварювальну ванну відбувається по колу, а струменеві дузі перпендикулярно до зварювальної ванни. Дана дуга є потужнішою за струменеву завдяки чому її ефективно використовувати для зварювання дуже товстих деталей де потрібне



максимальне проплавлення. Також зводяться до мінімуму оброблення шва після зварювання.

Найпоширенішим металом, який використовується в дуговому зварюванні металевим електродом у середовищі захисного газу, є сталь. Крім того, за допомогою процесу MIG/MAG також можна зварювати алюмінієві сплави та сплави з нержавіючої сталі.

## 1.2 Процеси MIG/MAG зварювання від фірми FRONIUS

Процес LSC – це зварювання із низьким рівнем утворення бризок. При ньому використовується модифікована коротка дуга з надзвичайно високою стабільністю. Вона дає змогу виконувати високоякісні зварні шви за мінімального рівня утворення бризок та підвищеної швидкості наплавлення навіть у перехідній та крапельній дугах. Сутність процесу LSC полягає в тому, що за низького струму виникає коротке замикання, яке зумовлює плавність повторного підпалювання і стабільність зварювання. Саме за таким принципом працює система TPS/i, що миттєво й ефективно розпізнає фази процесу під час короткого замикання та оперативно реагує на них. Завдяки цьому, а також стабілізатору проплавлення зварювальникам вдається досягти чудових результатів, особливо за утворення крапельної дуги.

Процес LSC забезпечує високі характеристики шва і містить вбудований стабілізатор проникнення, тож надає чимало переваг для зварювання в ручному режимі. А саме – гарантує особливо високу якість швів і на 75 % нижчий рівень утворення бризок.

Окрім того, потужна зварювальна дуга процесу LSC ідеально підходить для зварювання з виконанням корневих проходів і не потребує використання зварювальної ванни. Процес LSC можна однаково успішно застосовувати для зварювання в нижньому або верхньому положенні.

Холодний зварювальний процес CMT (Cold Metal Transfer) Advanced від Fronius відзначається високою швидкістю наплавлення, яку можна точно

регулювати, чергуючи позитивний та негативний цикли процесу. У фазі короткого замикання відбувається зміна полярності, завдяки чому цей «холодний» зварювальний процес забезпечує очікувану високу стабільність. СМТ Advanced також надає додаткові переваги, такі як точний тепловий вплив, висока швидкість наплавлення без підвищення теплового впливу та мінімальна деформація. Більш того, під час зварювання із застосуванням СМТ Advanced утворюється дуже мало зварювального диму, що покращує умови праці зварників.

Основою цього процесу є зварювальна дуга, що утворюється внаслідок чергування циклів СМТ з позитивною та негативною полярністю. Перемикання полярності відбувається під час короткого замикання, що забезпечує стабільність дуги. Під час фази негативної полярності досягається висока швидкість наплавлення та покращене перекриття зазорів, а фаза позитивної полярності забезпечує контрольований тепловий вплив і точний перехід крапель металу. Переміщення дроту є елементом процесу.

Імпульсне MIG/MAG зварювання - це вдосконалений вид напівавтоматичного зварювання, що забезпечує більш високу якість роботи та усуває недоліки традиційного MIG/MAG процесу.

Використовуючи імпульсний режим, зварювання можна проводити у будь-якому просторовому положенні. Перенесення металу у зварювальну ванну може бути крапельним або струменевим, при цьому присадковий дріт використовується максимально ефективно, оскільки розбризкування зведено майже до нуля. Імпульсний режим обладнання значно розширює межі регулювання струму зварювання і дозволяє без проблем зварювати вироби з тонкого металу дротом діаметром 0.8 мм, 1.0 мм, 1.2мм.

В основному, імпульсний режим – це спосіб перенесення присадкового металу, коли розплавлений присадковий метал передається до зварювальної ванни у контрольованій крапельній формі. Це досягається за рахунок мікропроцесорного керування вихідними параметрами джерела живлення. Під час горіння дуги, утворюється крапля металу визначеного розміру на кінці

присадкового дроту, в цей момент джерело живлення подає додатковий імпульс струму, що сприяє відриву краплі та потраплянню її у зварювальну ванну. Все це дає змогу контролювати розмір крапель та швидкість їхнього перенесення у зварювальну ванну.

Імпульсне MIG/MAG зварювання значно еволюціонувало з моменту його першої появи на ринку. У 1980-х роках цей процес був занадто складним і, в цілому, його використовували найбільш кваліфіковані зварювальники. Процес сильно залежав від навичок та умінь оператора, оскільки вимагав точного налаштування багатьох параметрів. На сьогоднішній день новітні системи керування обладнанням та програмування значно полегшують роботу, та роблять процес налаштування параметрів зварювання простими та швидкими. Обладнання містить бібліотеку зварювальних програм, автоматизованих налаштувань та функцій програмування, подвійний імпульсний режиму – все це значно розширює можливості обладнання. Як результат, оператор встановлює тільки основні параметри, а все інше - обладнання підбирає автоматично. Часто це називають «Синергичним» керуванням. Синергетика значно полегшує процес налаштування обладнання та зменшує вимоги до кваліфікації зварника. Зварник може задавати товщину металу, довжину дуги, виліт дроту, тип металу та захисного газу, швидкість подачі дроту, струм та напругу зварювання, тощо.

Синергетичне керування та наявність режиму імпульсного MIG/MAG зварювання робить обладнання більш дорогим у порівнянні з традиційними джерелами живлення, однак дане обладнання дозволяє отримати найбільш якісний зварний шов, зменшити витрати на розбризкування металу та зачищення деталей від бризок, працювати з таким обладнанням можуть оператори не високої кваліфікації.

### 1.3 Загальні відомості про зварювальний апарат Fronius TPS/i

Зварювальний апарат TPS/i – це одна з найсучасніших зварювальних систем, яка завдяки величезній потужності до 600 А і відповідає найсуворішим вимогам до зварювання деталей зі сталі, нержавіючої сталі й алюмінію.

Інтелектуальне обладнання, модульна структура та безліч варіантів розширення зварювальної системи забезпечують необхідну гнучкість і ефективність під час виконання будь-якої роботи.

Завдяки TPS/i ви завжди матимете під рукою ідеальне рішення, що не лише допоможе гідно впоратися із завданнями на перспективу, а й повністю розкриє ваш зварювальний потенціал.



Рисунок 1.2 – Зварювальні апарати TPS/i

Основними перевагами апаратів TPS/i є простота експлуатації. Завдяки сенсорному дисплею з можливістю індивідуального налаштування й меню понад 30 мовами.

Інноваційний сенсорний екран дає можливість швидко та просто налаштувати всі параметри зварювання. Меню навігації доступне понад 30 мовами та оформлене у вигляді інтуїтивного інтерфейсу користувача.

Стабілізатори довжини дуги та проплавлення забезпечують високу якість зварного шва.

Максимальна гнучкість використання даного обладнання досягається завдяки можливості розширення сфери застосування шляхом додавання пакетів програмного забезпечення (зварювальних комплектів).

Модульна структура TPS/i з індивідуалізованими пакетами програмного забезпечення дає змогу швидко адаптувати систему до будь-яких специфічних вимог на конкретному об'єкті.

Оскільки програмні рішення постійно вдосконалюються з урахуванням запитів користувачів, а конструкція зварювальних пальників та інших деталей повсякчас оновлюється, систему TPS/i можна без зайвих зусиль налаштувати для виконання найрізноманітніших зварювальних завдань.

Система настроювання параметрів процесу зварювання зручна, надійна, інтуїтивно зрозуміла. Вона забезпечує:

- Індивідуальне настроювання
- Безпосередній доступ до всіх обов'язкових параметрів зварювання
- Можливість швидкого огляду
- Усі робочі параметри можна переглянути в меню першого рівня
- Негайний доступ до 5 комірок EasyJob та ін.
- Швидке і просте налаштування часто виконуваних зварювальних завдань
- Швидше перемикання характеристик/параметрів процесу
- Заправлення дроту за максимально спрощеною процедурою
- 7-дюймовий кольоровий дисплей із простим текстовим інтерфейсом і сенсорним керуванням
- Вибір мови робочого інтерфейсу з понад 30 доступних мов

Назва параметра	Значення
Зварювальний струм максимальний	320,0 А
Зварювальний струм мінімальний	3,0 А
Зварювальний струм / тривалість включення [10хв/40°C]	320А / 40%
Зварювальний струм / тривалість включення [10хв/40°C]	260А / 60%
Зварювальний струм / тривалість включення [10хв/40°C]	240А / 100%
Діапазон робочої напруги	14,2-30,0V
Напруга холостого ходу	73,0 V
Частота мережі	50-60Hz
Напруга мережі	3 x 400V
Плавкий запобіжник мережі	35А
Габаритні розміри / ширина	300,0 mm
Габаритні розміри / довжина	706,0 mm
Маса	33,7 kg
Клас захисту	IP23

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики зварювального апарату TPS 320i

Залежно від вимог зварювання на TPS/i можна встановлювати різні пакети програмного забезпечення, так звані зварювальні комплекти – від стартового до максимально розширеного. Модульна структура та регулярні оновлення програмного забезпечення розширюють діапазон функцій системи, що надає користувачеві оптимальну конфігурацію для виконання будь-яких завдань. Процеси Standard і Pulse включено до складу базових пакетів. Розширені зварювальні комплекти LSC, PMC та CMT призначені для виконання особливо складних зварювальних завдань.

Система TPS/i має модульну конструкцію і тому легко може бути інтегрована в різноманітні системи роботизованого зварювання.

## 1.4 Параметри оцінки якості зварювання

Контроль зварних з'єднань є важливим етапом у кожному зварювальному процесі. Ретельний огляд може виявити явні та приховані дефекти, які впливають на якість і довговічність всієї металевої конструкції. Звичайно, якість зварного шва можна оцінити і візуально, але це лише один з методів.

Візуальний огляд не може виявити внутрішні тріщини або пори. Тому важливо знати додаткові методи контролю якості. На великих виробничих підприємствах це завдання виконує керівник зварювальних робіт, але на невеликих заводах ця відповідальність часто лягає на плечі зварювальників. У цій статті описано, як перевіряти зварні шви та які методи контролю якості існують, окрім візуального огляду.

Існують різні види і засоби технічного контролю, кожен з яких має свої переваги і недоліки, особливості та нюанси. Але, незважаючи на відмінності, всі вони призначені для перевірки міцності і довговічності зварних швів. Якість зварного з'єднання багато в чому залежить від зварювальника і використовуваних компонентів, тому результати випробувань передбачувані. Однак для забезпечення довговічності виробу все одно рекомендується проводити контроль якості.

Перевірка якості зварних з'єднань може здійснюватися за допомогою візуального контролю (ймовірно, найпоширеніший метод), ультразвукового, магнітного, капілярного і радіографічного (рентгенівського) контролю, а також контролю проникності зварного шва. Існують й інші методи контролю зварних швів, але в цій статті наведені найпоширеніші та найпростіші у використанні. Рекомендується проводити післяопераційний контроль якості, тобто спочатку інспекцію зварного шва, а потім капілярний контроль.

Починають контроль з візуального огляду. Це найпростіший і найшвидший спосіб перевірити якість зварного шва. Для цього не потрібні спеціальні інструменти або рідини, лише уважність. Уважно огляньте зварний шов. Не повинно бути видимих дефектів, таких як тріщини або відколи, а

ширина і висота шва повинні бути однаковими на всіх ділянках. Візуальний огляд зварного шва також може виявити наявність ямок, провисань і неправильних вигинів шва. Все це дефекти, які свідчать про низьку якість зварного шва.

Для більш ефективного контролю якості зварних швів рекомендується використовувати потужну лампу і лупу. Також стануть в нагоді рулетка, лінійка і штангенциркуль. За допомогою таких простих інструментів можна виміряти розмір дефекту і зрозуміти спосіб подальших дій.

Звичайно, цим методом не можна проводити повномасштабні обстеження зварювальних з'єднань трубопроводів, зварювальних з'єднань газопроводів та інших відповідальних конструкцій, але візуальний огляд може бути першим завданням, а потім можна застосувати інші методи обстеження.

Методи контролю якості зварних з'єднань включають випробування зварних швів. Для цього використовується капілярний метод. У цьому методі, надзвичайно простому за своєю суттю, використовується спеціальна рідина, здатна проникати в найдрібніші пори і тріщини, відомі як капіляри.

За допомогою капілярної дефектоскопії можна перевірити на якість метали будь-якого складу і форми. Оскільки капілярна дефектоскопія дуже проста у використанні і не вимагає дорогого обладнання, цей метод часто застосовується, коли необхідно виявити приховані дефекти, які не видно неозброєним оком, але на які не дозволяє бюджет.

Капілярний контроль зварних з'єднань здійснюється за допомогою рідин, які називаються пенетрантами (від англійського слова "penetrant", що означає "проникаюча рідина"). Ці рідини мають низький поверхневий натяг, що дозволяє їм легко і візуально проникати в дрібні капіляри. Дійсно, пенетрантні рідини заповнюють порожнечі і роблять видимими дефекти, забарвлюючи їх.

Сьогодні можна знайти багато рецептів приготування осмотичних агентів, кожен з яких має свої властивості та характеристики. Пенетранти можна приготувати на основі води або інших органічних рідин (скипидар, бензол і дуже популярний парафіновий зварювальний тест також



застосовуються тут). Такі пенетранти дуже ефективні і чутливі навіть до найменших дефектів. Вони займають лідируючі позиції серед методів контролю якості.

Перевірка зварних швів не закінчується тільки на рідинах. Зварні шви також повинні бути перевірені на герметичність. Випробування на герметичність має багато різних назв, наприклад, виявлення витоків, випробування бульбашками, пневматичне випробування і гідравлічне випробування. Це виявлення дефектів проникнення, які погіршують герметичність зварних з'єднань.

Зварний шов перевіряють на герметичність за допомогою газів (наприклад, кисню або азоту) і різних рідин (наприклад, води). Цей метод багато в чому схожий на капілярний метод, коли газ або рідина вводяться під високим тиском, і тиск змушує їх дифундувати в порожнину дефекту і виходити з неї. Цей метод має свою класифікацію. Розрізняють пневматичну і гідравлічну дефектоскопію, також шви можуть бути проінспектовані вакуумом або продувкою повітрям, що є підкласом пневматичної дефектоскопії. Але про все це поговоримо докладніше.

Почнемо з пневматичного методу контролю якості зварювання. Цей метод використовує газ або повітря, що подається під тиском на шов. При цьому шов змащується мильним розчином. Пневматичний контроль також відомий як вакуумний контроль, при якому за допомогою спеціального пристрою створюється штучний вакуум, деталь поміщається всередину, а шов попередньо змочується мильним розчином. На місці penetраційних тріщин утворюються бульбашки повітря, які вказують на місце розташування дефекту.

При приготуванні мильного розчину використовуйте один шматок мила на кожен літр води. При роботі при низьких температурах (взимку на відкритому повітрі) бажано замінити хоча б половину води спиртом. Також бажано підключити манометр. За допомогою манометра можна контролювати значення тиску і з'ясувати, як падає тиск при виявленні несправності. Також

слід використовувати запобіжні клапани, щоб забезпечити дотримання заходів безпеки.

Найпростіша перевірка повітряним тиском полягає в зануренні компонента у воду і застосуванні тиску, не змащуючи з'єднання водою з милом. Дефекти зварних швів стають очевидними, коли зі зварного шва починають виходити невеликі бульбашки повітря. Цей метод контролю якості, який також можна назвати інспекцією на місці, є дуже ефективним.

Інша форма пневматичного контролю називається аміачним контролем якості зварних швів і з'єднань. Замість газу або повітря подається аміак, а місце з'єднання попередньо покривається спеціальною паперовою стрічкою. Аміак проходить через шов, і якщо є дефект, на стрічці з'являється червона крапка.

Другий вид перевірки герметичності - гідравлічний. Тут використовується вода або масло для створення тиску. Це дуже цікавий метод: деталь поміщають у рідину на 5-15 хвилин (залежно від властивостей металу), за цей час по ділянці навколо шва б'ють молотком. Якщо там є дефект, то при ударі рідина витече з наміченого місця разом з тріщиною або іншим пошкодженням.

Магнітні методи контролю засновані на принципах електромагнетизму. Інспектор або зварювальник використовує спеціальний пристрій для створення магнітного поля навколо зварного шва і випромінювання струму, який називається електромагнітними променями. Якщо електромагнітні промені спотворюються, виникає дефект. Спотворення виправляється за допомогою магнітного порошкового покриття.

При магнітно-порошковій дефектоскопії феромагнітний порошок попередньо наноситься на поверхню зварного шва і починає осідати в дефектній зоні, коли електромагнітні лінії спотворюються. Тому магніто-порошкова дефектоскопія можлива тільки при роботі з феромагнітними металами. Алюміній, мідь і сталі з високим вмістом хрому або нікелю не піддаються контролю. Загалом, цей метод дуже ефективний, але трудомісткий і

дорогий, і тому використовується тільки для контролю особливо відповідальних компонентів.

Ультразвуковий метод є одним з новітніх. Він заснований на властивостях ультразвукових хвиль. Ультразвукові хвилі легко відбиваються від країв тріщин і відколів через їх різні акустичні властивості. Простіше кажучи, якщо ультразвукові хвилі застосовуються до зварного шва і стикаються з дефектом під час обробки, вони спотворюються і відбиваються в іншому напрямку. Завдяки тому, як спотворюються ультразвукові хвилі, можна легко виявити різні типи дефектів.

Контроль якості зварювання за допомогою ультразвуку розповсюджено повсюдно, оскільки це високоефективний і недорогий метод. Порівняно з іншими методами (наприклад, магнітним або радіаційним), він не враховує властивості металу і не вимагає придбання дорогого обладнання. Однак він має деякі недоліки. Ультразвуковий контроль зварних з'єднань повинен проводитися фахівцями, а не звичайними зварювальниками.

Радіологічний контроль зварних з'єднань (також відомий як «радіографічний контроль» або «гамма-контроль зварних з'єднань») є зменшеною версією звичайного рентгенівського дослідження. Гамма-промені проникають в метал і всі можливі приховані дефекти фіксуються на спеціальній плівці. Це найскладніший і найдорожчий метод контролю якості, що вимагає найсучаснішого обладнання та кваліфікованого контролера або зварювальника. Перевагою від роботи з таким обладнанням також може бути шкідливою для людського організму.

Нещодавно було впроваджено цифрову рентгенографію за допомогою комп'ютера. Замість плівки тут використовуються спеціальні багаторазові пластини, які можна використовувати з будь-яким джерелом випромінювання. Однак, на відміну від звичайного радіаційного моніторингу, при цифровому методі зображення зберігаються безпосередньо на комп'ютері, їх можна масштабувати та обрізати. У майбутньому цей процес буде автоматизовано, так що присутність людини більше не буде необхідною.

## 1.5 Постановка завдання

Метою кваліфікаційної роботи є обґрунтування впливу режимів механізованого зварювання на якісні параметри зварних швів.

Для досягнення поставленої мети потрібно виконати такі завдання:

1. Проаналізувати види зварювання які можуть забезпечувати зварювальні апарати Fronius.
2. Проаналізувати конструкцію, параметри і налаштування даних зварювальних апаратів.
3. Обґрунтувати вибір технологічних параметрів, вибір режимів зварювання, в залежності від товщини деталей які зварюються.
4. Розробити методику експериментальних досліджень.
5. Провести експериментальні дослідження зварювання на різних режимах, за різних налаштувань зварювального апарату, і оцінити їх вплив на якість зварних з'єднань.
6. Проаналізувати вимоги охорони праці під час процесу зварювання, та розрахувати собівартість зварних з'єднань.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Характеристика таврових швів

Таврове з'єднання являє собою зварювання двох деталей перпендикулярно тобто під кутом  $90^{\circ}$  один відносно іншого які в перерізі утворюють букву Т, і в випадку зі стиковими швами, виконується зварювання з однієї або з двох сторін, також у підприємствах де є автоматизовані лінії зварювання тавровий шов розташовують для зварювання “ в лодочку”. Даний метод зварювання пришвидшує до 30% час зварювання, зменшує вірогідність підрізів у шві, і збільшує глибину проплавлення. В тавровому з'єднанні так само як і у кутових і з'єднанням в напуск при контрольних перевірках вимірюється катет зварного шва. На кресленнях даний вид шва позначається буквою Т. Таврові з'єднання мають велике використання у всіх видах конструкцій.

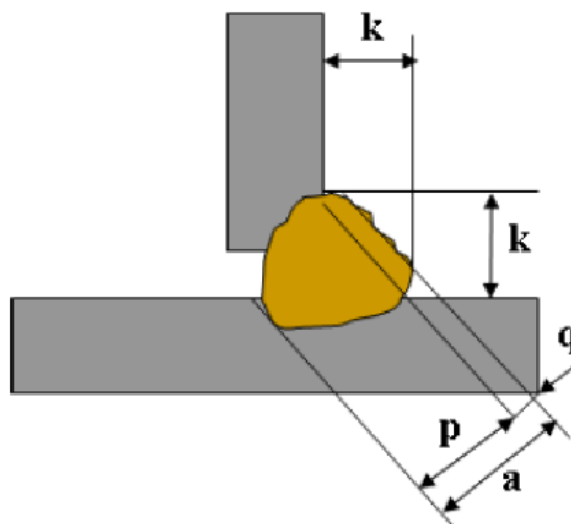


Рисунок 2.1 – Схема таврового зварного з'єднання

### 2.2 Характеристика зварюваних матеріалів

При виконанні дослідження був використаний матеріал Сталь3.

Характеристики марки сталі Ст3:

Ст3 – сталь вуглецева простої якості, вона використовується для виготовлення несучих деталей зварних і незварних конструкцій і деталей. Хімічний склад даної сталі підпадає вимогам стандартів ДСТУ 2651 і ГОСТ 380.

Класифікація: Сталь конструкційна вуглецева звичайної якості.

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	N	Cu
0.14- 0.22	0.15- 0.30	0,40- 0,65	≤0.04	≤0.05	≤0.30	≤0.30	≤0.010	≤0.30

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сталі Ст3сп згідно з ДСТУ 2651, %

Стандарт	Межа міцності, Rm (МПа), Н/мм2	Мінімальна межа плинності, ReH (МПа)				Мінімальне відносне подовження $\sigma$ , %		
		До 20	20-40	40-100	Більше 100	До 20	20-40	Більш 40
ДСТУ 8803 ДСТУ 8803	370-480	245	235	225	205	26	25	23

Таблиця 2.2 – Механічні властивості сталі Ст3

Фізико-механічні характеристики сталі Ст3: чудово зварюється з усіма типами газового та електродугового зварювання. Не здатна до відпускнуї крихкості. При зварюванні виробів товщиною більш ніж 36 мм рекомендується попередньо виконати підігрів, а після зварювальння провести термообробку деталі для надання їй певних критеріїв міцності і твердості.

Дану сталь використовують по всьому світу тому ось декілька аналогів даній марці:

- США - A284Gr.D, A57036, A573Gr.58, A611Gr.C, GradeC, K01804, K02001, K02301, K02502, K02601, K02701, K02702, M1017.

- Євросоюз - Fe37-3FN, Fe37-3FU, Fe37B1FN, Fe37B1FU, Fe37B3FN, Fe37B3FU, S235, S235J0, S235J2G3, S235JR, S235JRG2.

- Японія - SS330, SS34, SS400.

- Швеція - 1312, 1313..
- Китай - Q235, Q235A, Q235A-B, Q235A-Z, Q235B, Q235B-Z, Q235C.
- Австрія - RSt360B.
- Фінляндія - FORM300H, RACOLD03F, RACOLD215S.

Даний вид сталі Ст3 найбільш розповсюджений у всіх сферах і використовується в виробництві опорних елементів зварних і незварних конструкцій і деталей, які працюють за плюсових температур. Із сталі Ст3 виготовляють товстолистовий і тонколистовий прокат, сортові та фасонні профілі (швелери, двотаври, кутники, смуги, арматура та ін.). Окрім того, Ст3 використовують у виготовленні труб різного призначення й перетину, поковок, штамповок і металовиробів. Вона використовується в повсякденному та промисловому будівництві, в прокладенні надземних і підземних з'єднань.

### 2.3 Характеристика зварювальних матеріалів (дріт)

У процесі зварювання в зварювальному апарат було заправлено зварювальний дріт марки ER70S-6.

Дріт зварювальний обміднений ER70S-6 використовується для зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей в середовищі захисного газу ( $\text{CO}_2$ , Ar,  $\text{CO}_2+\text{Ar}$ ). У ході зварювання виконується стабільне горіння дуги, чудове повторне розливання металу, низький рівень розбризкування. Будується витривалий зварювальний шов, стійкий до різноманітних навантажень. При зварюванні обмідненим дротом рівень втрат металу на розбризкування менше на 17-37% у порівнянні з дротом, що має захисний шар мастило або іржу. Діаметр накручування дроту на касети й котушки впливає на непримхливість струмопроводу в зачепленні «дріт-наконечник» і на розташування торця електрода відносно наконечника. Тому діаметр, жорсткість і товщина мідного шару повинні точно витримуватися по всій довжині дроту. Обміднений дріт дозволяє добитися стабільних механічних властивостей зварювального шва, та висок технологічні властивості, та забезпечити надійність зварювальних швів.

### Характеристики:

Марка по AWS	ER70S-6
DIN	Sg2
GB	ER50-6
Марка по ГОСТ 2246-70	СВ08Г2С-О

#### Хімічний склад дроту (%)

C	0.06-0.15
Mn	1.40-1.85
Si	0.80-1.15
S	< 0.035
P	< 0.025
Cu	< 0.50
Інші	< 0.5

#### Механічні властивості наплавленого металу (%)

Межі текучості $\delta_{0.2}$ (МПа)	$\geq 420$
Міцність на розтягнення, $\delta_b$ (МПа)	$\geq 500$
Елонгація, $\delta_5$ (%)	$\geq 22$
Ударна в'язкість (Дж/см <sup>2</sup> )	$\geq 27$

Даний дріт широко застосовується в різних сферах промисловості завдяки свої чудовим фізичним властивостям і своїй порівняно з іншими марками зварювального дроту ціні.

## 2.4 Характеристика захисних газів

Захисні гази призначені для захисту зварювальної дуги й ванни від шкідливого впливу навколишнього середовища. В якості захисних газів використовують інертні та активні гази, а також їх суміші.

До інертних захисних газів відносять аргон і гелій. Хімічно вони не взаємодіють із металом і не розчиняються у ньому та забезпечують захист дуги й металу шва від повітря.



Аргон є одноатомним інертним газом, без кольору та запаху, важчий за повітря, чим забезпечує надійний захист зварної ванни.

Залежно від домішок (кисень, азот, водень) він поділяється на такі сорти:

- аргон газоподібний і рідкий (ГОСТ 10157-79) - вищого сорту (не менше 99,992% Ar) та першого сорту (99,987% Ar) для плазмового різання і зварювання плавким і неплавким електродом;
- аргон високої чистоти (ТУ 6-21-12-79) - рідкий першого сорту (99,998% Ar), рідкий другого сорту (99,995% Ar) і газоподібний (99,995% Ar).

Аргон вищого сорту використовується для зварювання титанових сплавів, цирконію, молібдену та інших активних металів і сплавів, а також для зварювання особливо відповідальних виробів із нержавіючих сталей. Аргон першого сорту призначений для зварювання алюмінієвих і магнієвих сплавів; другого сорту - для зварювання виробів із чистого алюмінію, нержавіючих і жароміцних сплавів.

Зберігають і перевозять аргон у сталевих суцільнотягнутих балонах у газоподібному стані з тиском 15 МПа (150 кгс/см<sup>2</sup>). У повному стандартному балоні місткістю 40 дм<sup>3</sup> (л) знаходиться:  $150 \times 40 = 6000$  дм<sup>3</sup> (6 м<sup>3</sup>) газу. Колір балона сірий, а напис - зелений.

Гелій - інертний газ без кольору й запаху, значно легший за повітря і в 10 разів - від аргону. Дуга, що горить у гелію, виділяє більше тепла, ніж в аргоні, чим забезпечує глибоке проплавлення металу. Оскільки гелій в 10 разів легший за аргон, погіршується захист зварної ванни і в 1,5-2 рази збільшуються витрати.

Залежно від вмісту домішок (азот, кисень, вуглекислий газ) гелій газоподібний (ГОСТ 20461-75) поділяється на такі сорти:

- особливої чистоти (не менше 99,995% He);
- високої чистоти (99,985% He);
- технічний (99,8% He).

Гелій використовують при зварюванні кольорових металів і сплавів, нержавіючих сталей.

Зберігають і транспортують гелій так само як і аргон. Колір балона коричневий, а напис - білий.

До активних захисних газів відносяться вуглекислий газ, азот, водень та ін. Вони хімічно взаємодіють із зварюваним матеріалом і розчиняються в ньому.

Вуглекислий газ (CO<sub>2</sub>) безколірний з незначним запахом. При підвищенні тиску він перетворюється в рідину, яку називають вуглекислою, а при сильному охолодженні (нижче -78,9°C) переходить у твердий стан, який називають «сухий лід». Вуглекислий газ в 1,5 рази важчий за повітря, що забезпечує надійний захист зварної ванни при незначних витратах.

Густина рідкої вуглекислоти сильно змінюється при змінах температури і тому вуглекислота постачається за масою, а не за об'ємом. При випаровуванні 1 кг вуглекислоти утворюється 509 дм<sup>3</sup> (л) вуглекислого газу.

Випускають двоокис вуглецю газоподібний і рідкий (ГОСТ 8050-85) таких серій:

- зварювальний (не менше 99,5% CO<sub>2</sub>);
- зварювальний підвищеної якості (99,8% CO<sub>2</sub>);
- технічний (98,5% CO<sub>2</sub>).

Зварювальний (просушений) вуглекислий газ відрізняється від технічного меншим вмістом вологи.

Рідку вуглекислоту зберігають у балонах під тиском 6-7 МПа. У балоні знаходиться 60-80% рідини, а решта - газ, що випарувався. Колір балона чорний, а напис - жовтий. В балони місткістю 40 л заливають 25 л вуглекислоти, при випаровуванні якої утворюється 15120 л газу. Зварювальну вуглекислоту забороняється заливати в балони з-під харчової і технічної вуглекислоти тому, що вони можуть мати підвищену кількість пари води. Використовують вуглекислоту до тиску в балоні не менше 0,4 МПа.

Азот - газ без кольору й запаху, при температурі -196°C перетворюється на рідину. Він є інертним щодо міді. Використовують для зварювання міді, аустенітних сталей і плазмового різання.

Випускають азот таких сортів:

- газоподібний і рідкий (ГОСТ 9293-74): особливої чистоти (не менше 99,996% N<sub>2</sub>);
- технічний газоподібний вищого сорту (99,994% N<sub>2</sub>);
- технічний газоподібний і рідкий першого сорту (99,5% N<sub>2</sub>);
- технічний газоподібний і рідкий другого сорту (99,0% N<sub>2</sub>);
- технічний газоподібний і рідкий третього сорту (97,0% N<sub>2</sub>);
- азот газоподібний і рідкий технічний, підвищеної чистоти: сорт 1 (99,99% N<sub>2</sub>);
- сорт 2 (99,95% N<sub>2</sub>).

Колір балону чорний, напис на ньому – жовтого кольору.

Водень - газ без кольору, запаху й смаку, в 1,4 рази легший за навколишнє повітря. Використовують як домішки до захисних газів та для інших промислових потреб.

Згідно з ГОСТом 3022-80 випускають технічний водень таких марок:

- А (вміст водню не менше 99,99% H);
- Б - сорт вищий (99,95% H), сорт 1 (99,8% H);
- В - сорт вищий (98,5% H), сорт 1 (97,5% H), сорт 2 (95,0% H).

Колір балону темно-зелений, напис - червоний.

У деяких випадках кращі технологічні властивості мають суміші газів. Суміш з 70% He і 30% Ar збільшує продуктивність зварювання алюмінію, покращує формування шва, дозволяє наплавити більший шар металу. Суміш вуглекислоти з киснем (2-5%) сприяє дрібно-краплинному перенесенню металу, покращує формування шва, зменшує розбризування на 30-40%. Аргоно - азотна суміш (86-88% Ar) покращує плазмове різання, а аргоно - киснева (79-77% Ar) сприяє кращому зварюванню плавким електродом сплавів у сильно окислювальній атмосфері. Домішки вуглекислоти або кисню до аргону сприяють утворенню струминного перенесення металу в дузі, зменшуючи при цьому розбризування і покращуючи якість шва. Суміш аргону (90%) і водню (10%) використовується при зварюванні тонкого металу, забезпечує збільшення

швидкості зварювання, зменшення зони термічного впливу і залишкових деформацій. Таку суміш застосовують при мікро плазмовому зварюванні. Водень забезпечує стискання стовпа дуги, робить його сконцентрованим.

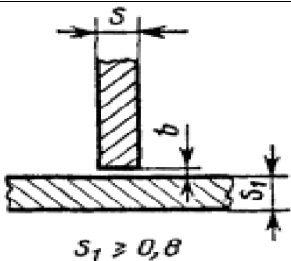
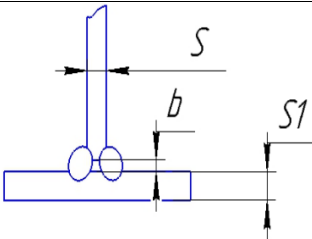
Суміші інертних і активних газів (аргон, вуглекислий газ, кисень) мають технологічні переваги перед чистим вуглекислим газом. У даний час впроваджений випуск готових газових сумішей, які зменшують розбризкування електродного металу на 5-10%, покращують формування металу шва і роблять процес зварювання менш чутливим до коливань напруги та швидкості подачі дроту.

## 2.5 Розрахунок режиму зварювання

Розрахунок параметрів режиму виконання елементів таврових зварних з'єднань траверси ТЗ проводиться відповідно до стандарту ГОСТ14771-76 для конструктивних елементів зварних швів.

Вимоги стандарту ГОСТ14771-76 щодо елементів таврових зварних з'єднань ТЗ наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Таврове зварене з'єднання ТЗ за ГОСТ14771-76

Форма кромки	Зварне з'єднання
 <p><math>S_1 \geq 0,8</math></p>	
S, мм	20
$S_1$ , мм	10
b, мм	0
Мінімальне значення катета, мм	10

Вихідні дані таврового зварного з'єднання ТЗ ГОСТ14771-76:

S (товщина металу) = 20 мм;

$b$  (величина зазору) = 0;

$S_l$  (товщина металу) = 10 мм;

$K$  (катет шва) = 10 мм, оскільки в кутових і таврових з'єднаннях, де розміри шва можуть бути довільними, катет шва роблять рівним половині товщині  $S$  зварюваних деталей.

Для таврових з'єднань площа поперечного перерізу шва  $F_n$  визначається за формулою (2.1):

$$F_T = 0,5 \cdot 10^2 + 1,05 \cdot 10 = 60,5 \text{ мм}^2 \quad (2,1)$$

Форма і геометричні розміри шва визначаються параметрами:

- глибиною проплавлення  $h$ ,
- шириною шва  $e$ ,
- повною висотою шва  $H$ ,
- висотою посилення  $g$ .

Діаметр електродного дроту  $d_e$  залежить від товщини металу  $S$  і глибини проплавлення  $h$ . Однак, глибина проплавлення залежить від величини зазору між кромками та формою їх підготовки. Тому, щоб врахувати ці фактори, вводимо розрахункову глибину проплавлення  $h$  яку можна визначити по таблиці 2.2.

Таблиця 2.4 - Визначення розрахункової глибини проплавлення при механізованому та автоматичному зварюванні

Ескіз шва і форми підготовки кромки	Формула
	$h_p = (0,7 \dots 1,1) K,$ $K \leq 1,2S$

Підставивши необхідні значення в формулу з таблиці 2.4, отримаємо:

$$h = (0,7 \dots 1,1) \cdot 10 = 7 \dots 11 \text{ мм}$$

Визначаємо діаметр електродного дроту за формулою:

$$d_e = K_d \cdot F_T^{0,625}, \quad (2.2)$$

де  $K_d = 0,15 \dots 0,41$  - коефіцієнт, який залежить від положення шва і способу зварювання. Прийmemo середнє значення  $K_d = 0,2$ .

$$d_e = 0,2 \cdot 14,1^{0,625} = 1,05 \text{ мм}$$

Приймаємо  $d_e = 1,2$  мм.

Розрахунок зварювального струму під час зварювання дротом суцільного перетину проводиться згідно формули:

$$I_{зв} = \frac{\pi \cdot d_e^2}{4} \cdot j, \quad (2.3)$$

де  $j$  - щільність струму в електродній дроті, А/мм<sup>2</sup>, ( $j = 175$  А/мм<sup>2</sup>);

$d_e$  - діаметр електродного дроту, мм.

Підставимо дані в формулу (3.6) і розрахуємо  $I_{зв}$ :

$$I_{зв} = \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4} \cdot 175 = 200 \dots 230 \text{ А}$$

Приймаємо  $I_{зв} = 200 \dots 230$  А.

Визначимо напругу на зварювальній дузі  $U_\delta$  за формулою:

$$U_\delta = 14 + 0,05 \cdot I_{зв} \quad (2.4)$$

Підставивши необхідні дані в формулу (14) отримаємо:

$$U_\delta = 14 + 0,05 \cdot 200 = 21 \div 24 \text{ В}$$

Швидкість зварювання  $V_{зв}$  розраховуємо за формулою, де

$$\alpha_n = \alpha_p \cdot (1 - \psi) \quad (2.5)$$

де  $\psi$  - коефіцієнт втрат металу на угар і розбризкування, приймається рівним 0,02 ... 0,03.

$\alpha_p$  - коефіцієнт розплавлення дроту, г/А·год, який розраховується за формулою:

$$\alpha_p = 2 + \sqrt{\frac{I_{зв}}{d_e}} \quad (2.6)$$

Підставивши необхідні дані в формулу (15) отримаємо

$$\alpha_p = 2 + \sqrt{\frac{200}{1,2}} = 13,8 \text{ г/А} \cdot \text{год.}$$

Тоді

$$\alpha_n = 13,8 \cdot (1 - 0,025) = 14,5 \text{ г/А} \cdot \text{год.}$$

Підставивши отримані результати у формулу визначимо швидкість зварювання

$$V_{зв} = \frac{14,5 \cdot 200}{100 \cdot 0,2 \cdot 7,8} = 18 \dots 21 \text{ м/год}$$

Приймаємо  $V_{зв} = 18 \dots 21 \text{ м/год}$ .

Швидкість подачі зварювального дроту визначаємо за формулою

$$V_{пд} = \frac{4 \cdot V_{зв} \cdot F_T}{\pi \cdot d_e^2}, \text{ м/год} \quad (2.7)$$

$$V_{пд} = \frac{4 \cdot 18,3 \cdot 0,2}{3,14 \cdot 0,12^2} = 325 \text{ м/год}$$

Розрахунок витрати захисного газу

$$q_{зг} = 0,2 \cdot I_{зв}^{0,72} = 0,2 \cdot 200^{0,72} = 8,97 \text{ л/хв} \quad (2.8)$$

Таблиця 2.5 - Режими механізованого зварювання таврових швів

Товщина металу мм	$I_{зв}$ , А	$U_z$ , В	$V_{зв}$ , м/год	$V_{п.д.}$ , м/год	$q_{зг}$ , л/хв	$d_{ед}$ , мм	h, мм
10	200 - 230	21 - 24	18 - 21	325	9	1.2	7,4
6	135-160	20,5-22	11,5-13,6	292	7	1.0	2,8
8	165-190	21-23	14,2-17,6	306	8	1.0	5,1
16	330-360	30,5 - 32	27,5–30,5	486	12	1.6	6,2

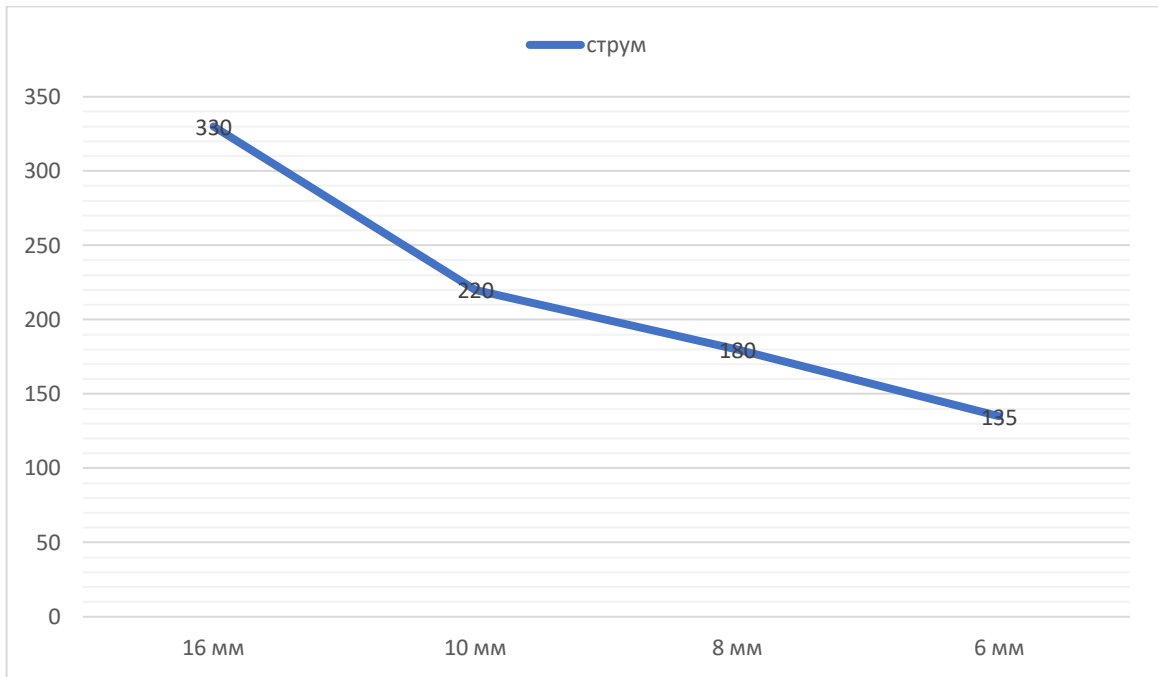


Рисунок 2.1 – Залежність струму зварювання від товщини металу

Перевіряємо оптимальність розрахунків режимів зварювання. Знайдемо глибину провару  $h$  при зварюванні в суміші захисних газів.

$$h = 0,0081 \sqrt{\frac{q_n}{\psi_n}} \quad (2.9)$$

Також, для глибини провару необхідно визначити погонну енергію  $q_n$ :

$$q_n = \frac{I_{зв} \cdot U_d \cdot \eta}{V_{зв}} \quad (2.10)$$

Також для глибини провару потрібно визначити коефіцієнт форми провару  $\psi_{пр}$ , який залежить від величини зварювального струму, діаметру електрода і напруги дуги.

$$\psi_n = K^I \cdot (19 - 0,01 \cdot I_{зв}) \frac{d_e \cdot U_d}{I_{зв}} \quad (2.11)$$

де  $K^I$  - коефіцієнт, величина якого залежить від роду струму і полярності.

$$K^I = 0,367 \cdot j^{0,1925} \quad (2.12)$$

Підставимо дані в формулу і знайдемо погонну енергію  $q_n$ :

$$q_n = \frac{200 \cdot 24 \cdot 0,75}{0,18} = 20000 \text{ Дж/см}$$

Тоді

$$K^I = 0,367 \cdot 175^{0,1925} = 0,99$$



$$\psi_n = 0,99 \cdot (19 - 0,01 \cdot 200) \frac{1,2 \cdot 24}{200} = 2,42$$

Отже глибина провару  $h$  становитиме:

$$h = 0,0081 \sqrt{\frac{20000}{2,42}} = 0,74 \text{ см} = 7,4 \text{ мм}$$

Глибина провару вийшла оптимальна, з чого випливає, що наші розрахунки вірні.

Розрахунки для інших товщин проводимо за в аналогічні послідовності дані занесемо в таблицю 2.5.

При розрахунках режиму зварювання для товщини 16 мм глибини проварювання було не достатньо, тому потрібно роби скіс кромки, робити зварювання в декілька проходів або збільшувати режим зварювання.

### 3. МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 3.1 Підготовка апарата до роботи

Усі зварювальні апарати є складними пристроями. Вони повинні бути належним чином підготовлені до процесу зварювання, щоб забезпечити стабільне зварювання без ривків і різних проблем зі зварюванням.

Джерело живлення TPSi можна використовувати в поєднанні з різними системними компонентами та аксесуарами. Це оптимізує роботу залежно від завдання, для якого використовується зварювальний апарат, і спрощує його переміщення та експлуатацію..



Рисунок 3.1 - Зварювальний апарат TPS 320i

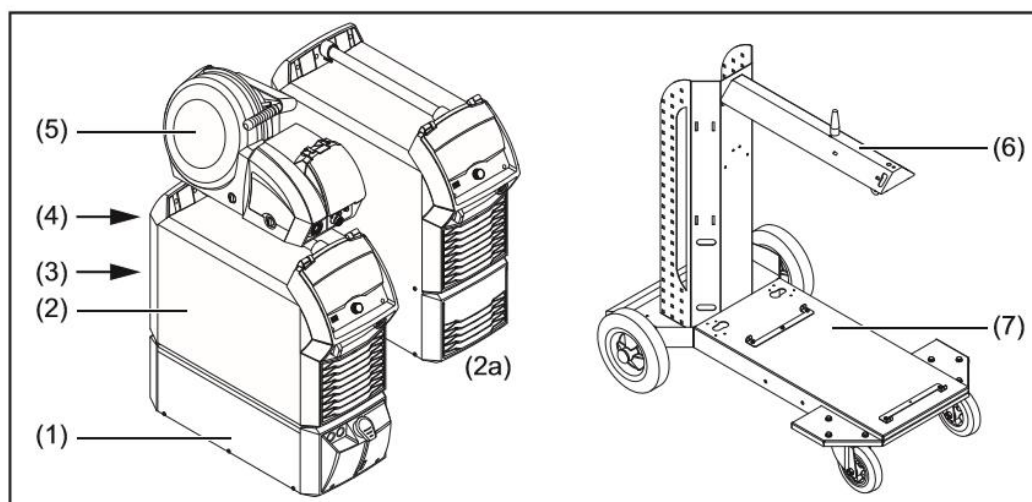
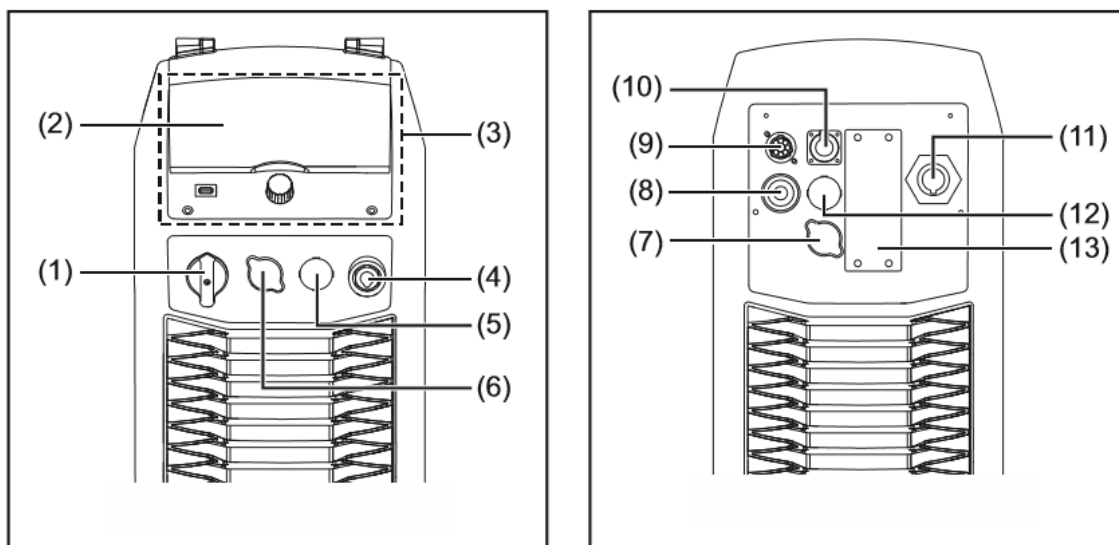


Рисунок 3.2 – Комплектація зварювальних апаратів типу TPSi

1 - охолоджуючий модуль; 2 - джерело струму; 2а - джерело струму TPS 400i LSC ADV; 3 - аксесуари для роботизованих пристроїв; 4 - сполучні шлангові пакети (до 50 м)\*; 5 - механізм подачі дроту; 6 - кріплення для механізму подачі дроту; 7 - візок та кріплення для газового балона

Роз'єми, переключателі та механічні складові джерел струму TPS 320i / 400i / 500i / 600i, TPS 400i LSC ADV представлені на рис. 3.3.



Передня панель

Задня панель

Рисунок 3.3 - Роз'єми, перемикачі та механічні компоненти джерел струму TPSi

- 1 Перемикач для включення і виключення джерела струму
- 2 Кришка панелі керування для захисту панелі
- 3 Панель керування з дисплеєм для роботи джерела струму
- 4 Гніздо (-) з байонетним з'єднанням для підключення кабелю заземлення при зварюванні MIG / MAG
- 5 Заглушка для 2-го гнізда (+) з байонетним з'єднанням
- 6 Заглушка для додаткового роз'єму SpeedNet
- 7 Заглушка для додаткового роз'єму SpeedNet
- 8 Гніздо (+) з дрібною різьбою (силовий роз'єм) для підключення силового кабелю з'єднувального шлангового рукаву при зварюванні MIG / MAG
- 9 Гніздо SpeedNet для підключення з'єднувального шлангового пакету
- 10 Роз'єм Ethernet для підключення інтернету
- 11 Кабель живлення
- 12 Заглушка для 2-го гнізда (-) з байонетним з'єднанням. Друге гніздо (-) використовується для зміни полярності (наприклад, при зварюванні порошковим дротом).
- 13 Заглушка для додаткового другого роз'єму SpeedNet або інтерфейсу робота RI FB Inside / i.

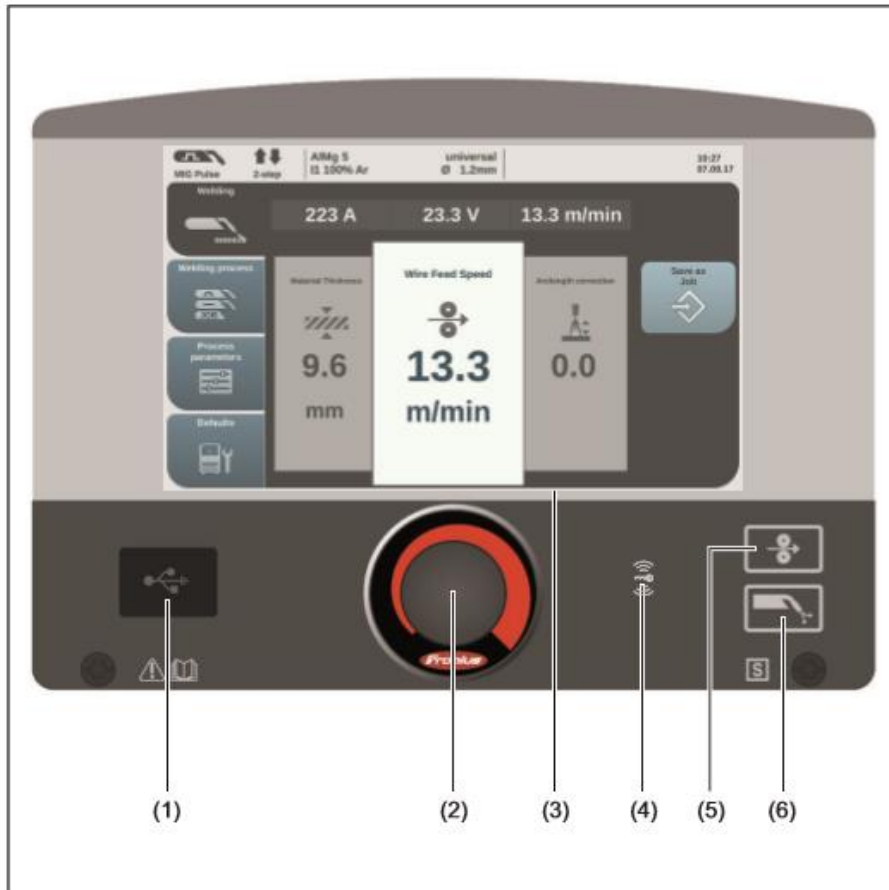


Рисунок 3.4 – Головна панель керування зварювального апарату TPS 320i

- 1 Роз'єм USB Для підключення USB-пристроїв (наприклад, сервісних накопичувачів і ліцензійних ключів).
- 2 Регульовальна шайба з функціями повороту і натискання , призначена для вибору меню, заданих значень і прокрутки даних.
- 3 Дисплей призначений для - безпосереднього управління джерелом струму за допомогою кнопок на дисплеї;
  - відображення значень;
  - навігації по меню.
- 4 Пристрій для читання карт-ключів NFC - для заблокування / розблокування джерела струму за допомогою ключів NFC;
- 5 Кнопка подачі дроту для заправки зварювального дроту в шланговий рукав зварювального пальника без подачі газу і струму.
- 6 Кнопка Test – gas (Перевірка газу) Для установки витрати газу на редукційний клапані.

Залежно від методу зварювання для роботи з джерелом струму необхідний певний мінімальний комплект оснащення. Далі описано відповідного мінімального комплекту обладнання для різних методів зварювання.

Вид зварювання	Мінімальний комплект оснащення
Зварювання MIG / MAG з газовим охолодженням	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Джерело струму;</li> <li>- Кабель заземлення;</li> <li>- Зварювальний пальник MIG/MAG з газовим охолодженням;</li> <li>- Пристрій подачі захисного газу;</li> <li>- Механізм подачі дроту;</li> <li>- Комплектуючі шланговий пакет;</li> <li>- Електродний дріт.</li> </ul>
Зварювання MIG / MAG з рідинним охолодженням	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Джерело струму;</li> <li>- Охолоджуючий модуль;</li> <li>- Кабель заземлення;</li> <li>- Пальник MIG/MAG з рідинним охолодженням;</li> <li>- Пристрій подачі захисного газу;</li> <li>- Механізм подачі дроту;</li> <li>- Комплектуючий шланговий пакет;</li> <li>- Електродний дріт.</li> <li>- Джерело струму;</li> <li>- Інтерфейс робота або роз'єм шини;</li> <li>- Кабель заземлення;</li> <li>- Роботизований або автоматизований зварювальний пальник MIG / MAG;</li> </ul>
Автоматизоване зварювання MIG / MAG	<p data-bbox="715 1458 1433 1592">Для роботизованих і автоматизованих пальників з рідинним охолодженням також потрібно охолоджуючий модуль.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Роз'єм для подачі захисного газу;</li> <li>- Механізм подачі дроту;</li> <li>- З'єднувальний шланговий пакет;</li> <li>- Електродний дріт.</li> </ul>
Ручне зварювання СМТ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Джерело струму;</li> <li>- У джерелі струму активовані зварювальні пакети Standard, Pulse і СМТ;</li> <li>- Кабель заземлення;</li> <li>- Зварювальний пальник PullMig СМТ з</li> </ul>

приводом СМТ і дровим буфером СМТ;

Для зварювання СМТ з рідинним охолодженням також потрібно охолоджуючий модуль.

- ОРТ / і PushPull ;
  - Механізм подачі дроту;
  - Комплектуючі шланговий пакет СМТ;
  - Електродний дріт;
  - Роз'єм для подачі захисного газу.
  - Джерело струму;
  - У джерелі струму активовані зварювальні пакети Standard, Pulse і СМТ;
  - Інтерфейс робота або роз'єм шини;
  - Кабель заземлення;
  - Зварювальний пальник СМТ з відповідним приводом;
  - Охолоджуючий модуль;
  - Розмотує механізм подачі дроту (WFi REEL);
  - Комплектуючі шланговий пакет;
  - Шланговий пакет зварювального пальника;
  - Шланг для подачі дроту;
  - Шланговий розгалужувач (SB 500i R, SB 60i R);
  - Дротяний буфер СМТ (входить в комплект SB 60i R);
  - Електродний дріт;
  - Роз'єм для подачі захисного газу.
  - Джерела струму з другим вбудованим роз'ємом ОРТ / і TPS;
  - Кабель заземлення;
  - Газова заслінка TIG;
  - Роз'єм для подачі захисного газу;
  - Присадний матеріал (в залежності від використання).
  - Джерела струму з другим вбудованим роз'ємом ОРТ / і TPS;
  - Кабель заземлення;
  - Електродотримачі зі зварювальним кабелем;
  - Електроди.
  - Джерело струму з встановленим другим
- Автоматизоване зварювання СМТ
- Зварювання TIG DC
- Зварювання стрижневим електродом
- Дугове зварювання

- вугільним електродом      додатковим роз'ємом OPT / і TPS;
- Кабель заземлення 120i PC;
  - Пальник для дугового зварювання вугільним електродом KRIS 13 ;
  - Подача стисненого повітря.

У системах з газовим охолодженням охолоджуючий модуль відсутній. В таких системах не потрібно приєднувати магістралі охолоджувальної рідини.

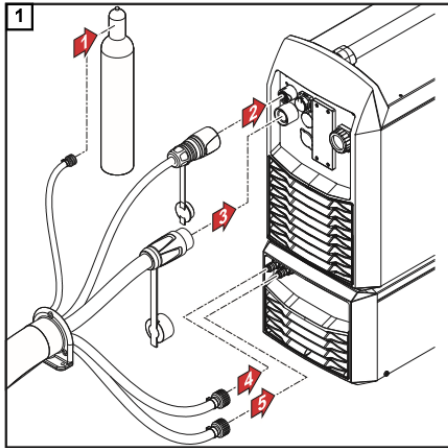


Рисунок 3.5 - Підключення з'єднувального шлангового рукаву до джерела струму і охолоджуючого модуля

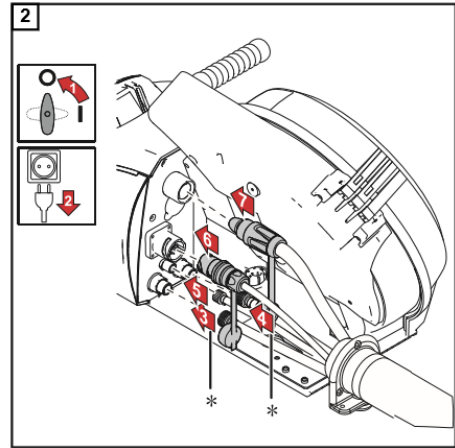


Рисунок 3.6 - Підключення з'єднувального шлангового рукаву до механізму подачі дроту

\* Тільки якщо до механізму подачі дроту обладнаний системою охолодження пальника.

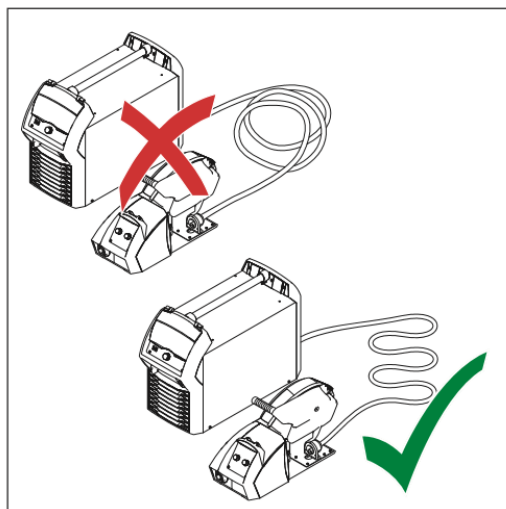


Рисунок 3.7 – Правильне прокладання з'єднувального шлангового пакету

### Неправильне

прокладання з'єднувального шлангового пакету може привести до пошкодження компонентів зварювальної системи через перегрів.

Під час прокладання з'єднувального шлангового пакету слід уникати утворення петель.

Забороняється ставити на з'єднувальний шланговий пакет сторонні предмети.

Не намотуйте з'єднувальний шланговий пакет в безпосередній близькості від газових балонів або на них.

Розміщуйте газові балони на твердій рівній поверхні таким чином, щоб вони розташовувалися в стійкому положенні. Закріплюйте їх, щоб уникнути падіння.

Дотримуйтесь правил техніки безпеки, встановлені виробником газових балонів.

1. Встановити газовий балон на майданчику візки.

2. Закріпити газовий балон, причіпивши його ремнем навколо верхньої частини, щоб уникнути перекидання.

3. Зняти з балона захисну кришку.

4. Відкрити кран балона на короткий час, щоб видалити можливе сміття.

5. Перевірити прокладку на редукційнійному редукторі.

6. Накрутити редукційний клапан на газовий балон і затягнути його.

7. під'єднайте газовий шланг на ручці з'єднувального шланга до редуктора за допомогою шланга.

Під час підключення пристрою до заземлення дотримуйтесь наступних рекомендацій.

- Використовуйте окремі дроти заземлення для кожного джерела живлення.

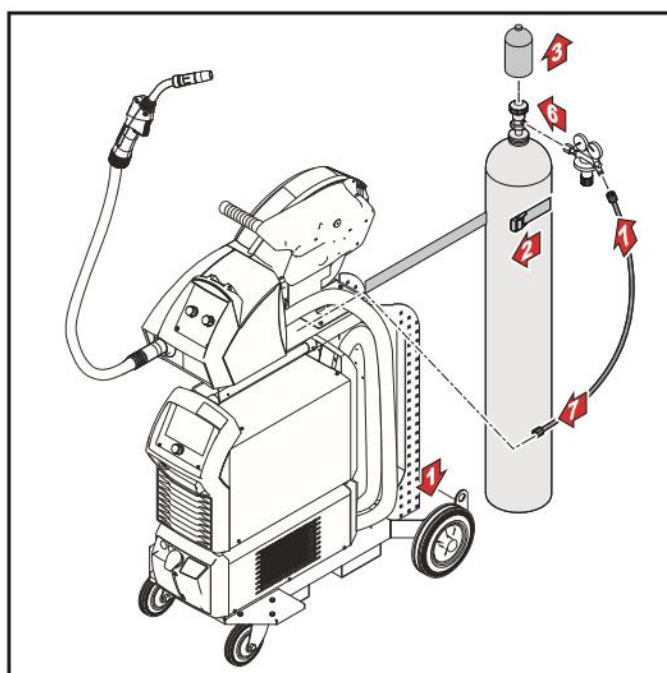


Рисунок 3.8 – Кріплення газового балона до візка апарату



- Переконайтеся, що допоміжні кабелі та кабелі заземлення мають достатню довжину та розташовані якомога ближче один до одного.
- Відокремлюйте ланцюги джерела для кожного джерела живлення.
- Не прокладайте більше одного кабелю заземлення паралельно. Якщо цього неможливо уникнути, дотримуйтесь відстані не менше 30 см між джерелами живлення.
- Використовуйте якомога коротший кабель заземлення з великим поперечним перерізом.
- Не перетинайте кабелі заземлення між собою.
- Уникайте феромагнітних предметів між кабелем заземлення та з'єднувальним шлангом.
- Не намотуйте довгі заземлювальні кабелі! Довгі кабелі необхідно прокладати в петлі.
- Не прокладайте заземлювальні кабелі по сталевих трубах, металевих кабельних каналах або сталевих рейках і не використовуйте кабельні коробки (у сталевих трубах можна одночасно прокладати додаткові кабелі та заземлювальні кабелі).

- При наявності декількох кабелів заземлення рекомендується максимально відокремити точки заземлення на деталі один від одного, щоб уникнути перетину ліній струму, що виникають під окремими зварювальними дугами.

- Використовуйте сполучні шлангові пакети з компенсацією (з'єднувальні шлангові пакети з вбудованим кабелем заземлення).

1. Підключіть роз'єм кабелю заземлення до гнізда (-) і поверніть, щоб закріпити його.

2. Протилежний кінець кабелю

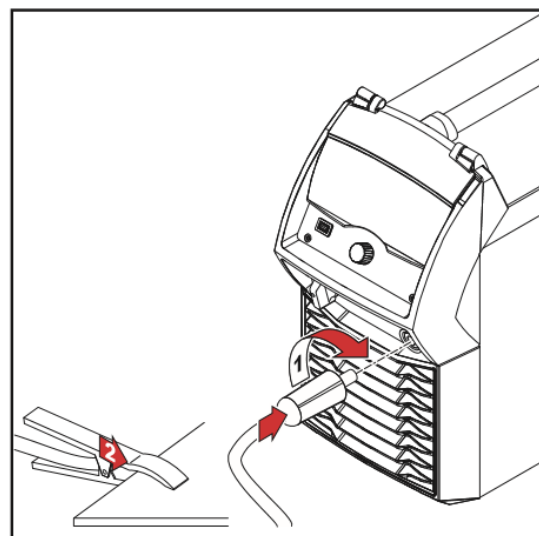


Рисунок 3.9 – Під'єднання кабелю заземлення

заземлення підключіть до деталі.

Для забезпечення оптимальної продуктивності зварювання прокладайте кабель заземлення якомога ближче до комплекту шлангів, до якого він підключений.

Використання спільного кабелю заземлення для декількох джерел живлення може негативно вплинути на результати зварювання!

Якщо для зварювання заготовки використовується кілька джерел живлення, використання спільного кабелю заземлення може суттєво вплинути на результат зварювання.

- Розділіть зварювальні ланцюги!
- Завжди використовуйте окремі кабелі для заземлення кожного зварювального ланцюга!
- Не використовуйте одне загальне заземлення!

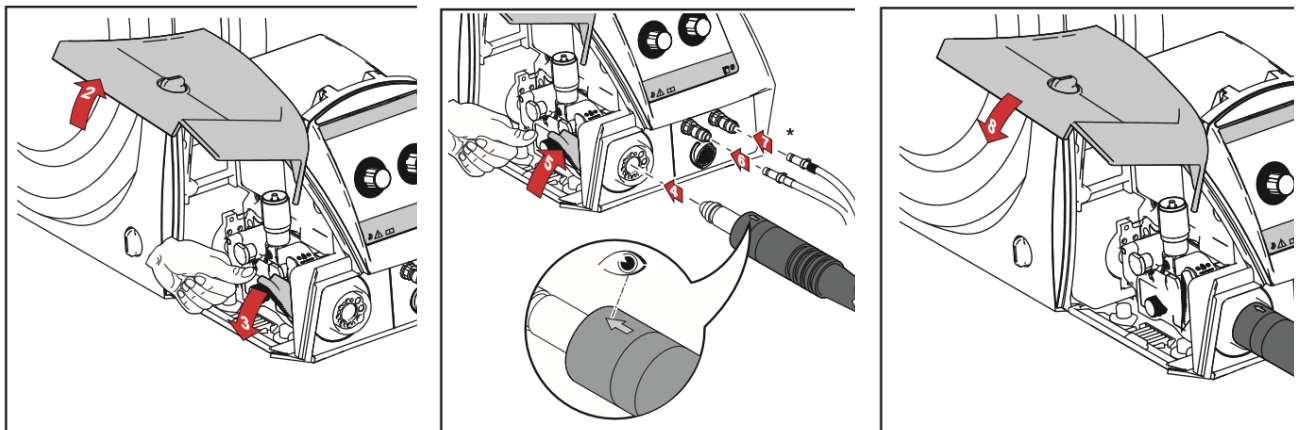


Рисунок 3.10 – Підключення зварювальних пальників MIG/MAG до механізму подачі дроту

1. Переконайтеся, що всі кабелі, проводи й шлангові пакети належним чином ізольовані і не пошкоджені.
2. Відкрийте кришку приводу дроту.
3. Відкрийте засувку приводного механізму
4. Переконайтеся, що зварювальний пальник оснащена належним чином. Вставте його відміткою вгору в євророз'єм механізму подачі дроту.
5. Закрийте засувку приводного механізму.

6. Підключіть магістраль подачі охолоджуючої рідини до відповідного фланця (синього).

7. Підключіть магістраль повернення охолоджуючої рідини до відповідного фланця (червоного).

8. Закрийте кришку приводу дроту.

9. Перевірте правильність всіх з'єднань.

Також, при потребі необхідно виконувати описані нижче кроки відповідно до керівництва по експлуатації механізму подачі дроту.

1. Вставте в механізм подачі дроту подаючі ролики.

2. Вставте в механізм подачі дроту звичайну катушку з дротом або кошикову катушку з адаптером.

3. Заправте зварювальний дріт.

4. Виставити зусилля притискання роликів дроту.

5. Відрегулюйте гальмо на катушці дроту.

### 3.2 Методика налаштування зварювального апарату на задані режими роботи

При виконанні дослідної частини даної кваліфікаційної роботи ми проводили зварювання деталей, за допомогою зварювального апарату Fronius TPS 320i. Оскільки даний апарат має процесорне керування його потрібно вміти налаштувати.

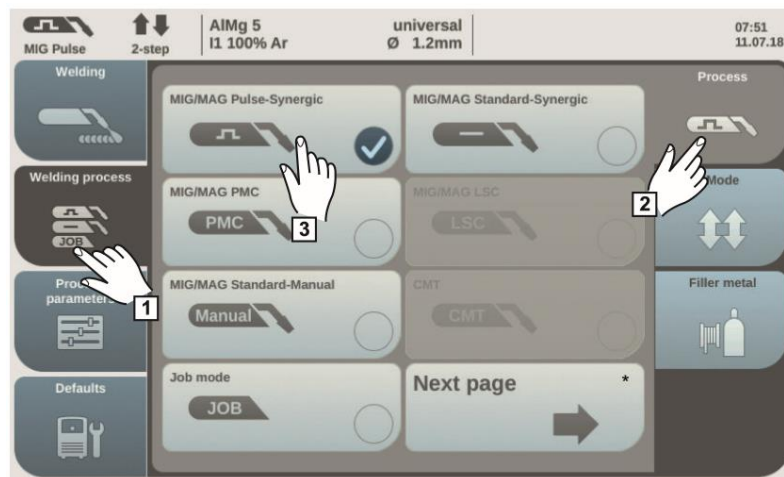


Рисунок 3.11 – Послідовність вибору процесу зварювання

Для вибору процесу зварювання необхідно (рис. 3.11):

- 1 – Натиснути на дисплей Welding process (Процес зварювання).
- 2 – Натиснути на дисплей Process (Тип процесу).

Після цього на панелі керування з'явиться інформація про обраний процес зварювання. Доступні процеси можуть відрізнятися, в залежності від типу джерела струму і встановленого пакету функцій.

- 3 – Натиснувши на дисплей виберіть потрібний Вам процес зварювання.

Натискання на дисплей зі стрілкою (\*) дозволяє перейти на наступну сторінку для вибору зварювання електродом (ММА) або TIG зварювання.

Для вибору потрібного режиму роботи зварювального апарату необхідно (рис. 3.12):

- 4 – Натиснути на дисплей Mode (Режим), після чого з'явиться перелік доступних режимів роботи:

- 2-step mode (2-тактний режим);
- 4-step mode (4-тактний режим);
- Special 2-step mode (Спеціальний 2-тактний режим);
- Special 4-step mode (Спеціальний 4-тактний режим)

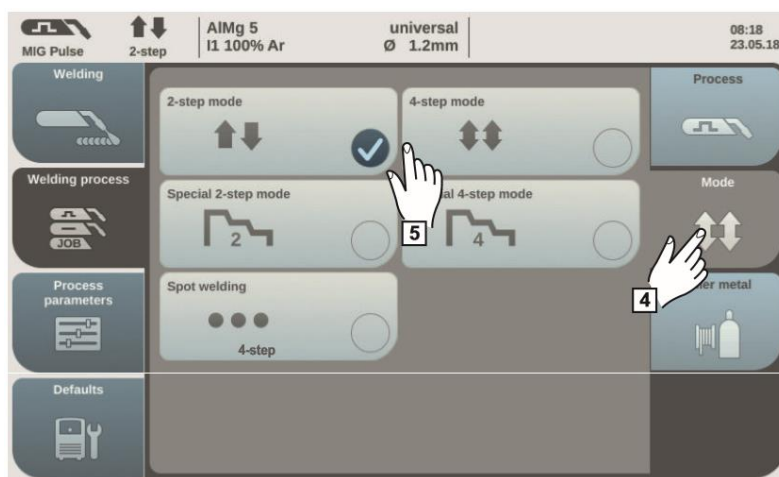


Рисунок 3.12 – Послідовність вибору режиму зварювання

- 5 – Вибрати потрібний режим роботи натиснувши на відповідний дисплей.

Для вибору відповідного припою (зварювального дроту) і захисного газу необхідно знати марку компонента, що зварюється. Механізм подачі

електродного дроту повинен бути оснащений катушкою з дротом відповідної марки та діаметру. Система подачі захисного газу повинна бути з'єднана з балоном, що містить необхідний захисний газ, через редуктор, щоб забезпечити процес зварювання, придатний для зазначеного матеріалу.

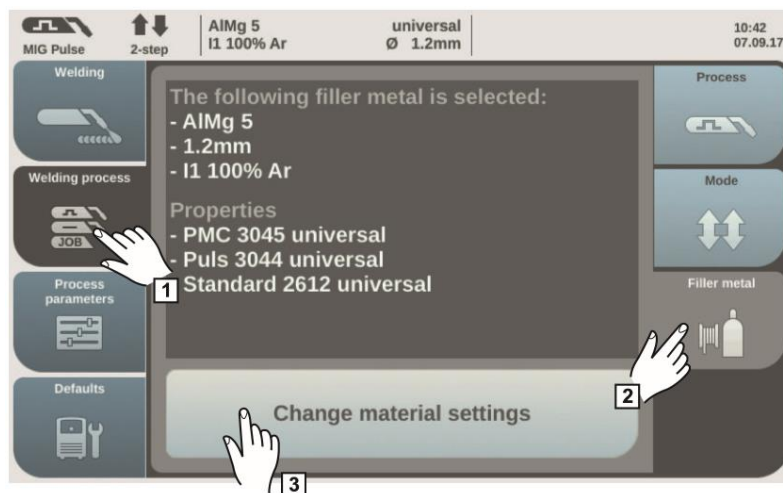


Рисунок 3.13 – Послідовність вибору присадкового матеріалу (зварювального дроту) і захисного газу

Для вибору необхідного присадкового матеріалу необхідно (рис. 3.13):

- 1 – Вибрати «Процес зварювання» натиснувши на дисплей Welding process.
- 2 – Натиснути на дисплей Filler metal «Зварювальний дріт»
- 3 – Натиснути дисплей Change material settings «Редагувати налаштування матеріалу».
- 4 – Повертаючи регульовальну ручку на панелі керування, виберіть потрібний присадний матеріал.
- 5 – Для зафіксування вибраного зварювального матеріалу необхідно натиснути кнопку Next (Далі) або регульовальну ручку.
- 6 – Повертаючи регульовальну ручку, виберіть потрібний діаметр зварювального дроту.
- 7 – Для фіксування вибраного діаметру дроту необхідно натиснути кнопку Next (Далі) або регульовальну ручку.
- 8 – Повертаючи регульовальну ручку, виберіть потрібний захисний газ.

9 – Для фіксування вибраного захисного газу необхідно натиснути кнопку Next (Далі) або регулювальну ручку.

Якщо для вибраного присадного матеріалу доступна лише одна властивість, набір властивостей, доступних для процесу зварювання, не відображається. У цьому випадку кроки з 10 по 14 пропускаються, а відразу відображається крок перевірки присаджувального матеріалу.

10 – Повертаючи регулювальну ручку, виберіть потрібний процес зварювання.

11 – Щоб вибрати потрібну характеристику, натисніть регулювальну ручку (на синьому фоні).

12 – Повертаючи регулювальну ручку, виберіть потрібну синергетичну програму.

13 – Натисніть регулювальну ручку, щоб підтвердити обрану характеристику (на білому фоні).

14 – натиснувши кнопку Next (Далі) з'явиться вікно підтвердження майстра вибору присадкового матеріалу.

15 – Натиснувши на кнопку Save (Зберегти) або регулювальну ручку обраний присадковий матеріал і відповідні характеристики процесу зварювання будуть збережені.

Після того, як обрано потрібний процес і режим зварювання, наступним кроком є встановлення необхідних параметрів для обраного процесу. Вхідними даними для цього є товщина деталі, що зварюється, зварювальний струм або швидкість подачі зварювального дроту.

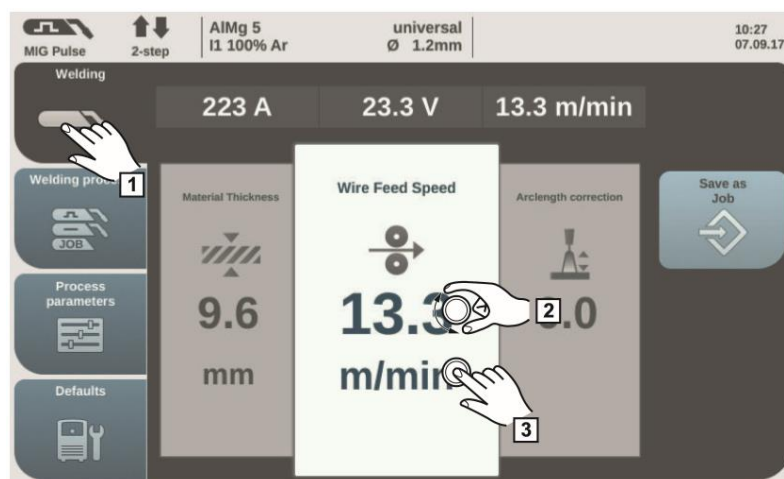


Рисунок 3.14 – Послідовність налаштування параметрів процесу зварювання

Налаштування параметрів процесу зварювання здійснюють в наступній послідовності:

- 1 – Натиснути на дисплей Welding «Зварювання».
- 2 – Повертаючи регульовальну ручку, виберіть параметр зварювання, який необхідно налаштувати.
- 3 – Щоб змінити обраний параметр зварювання, необхідно натиснути на регульовальну ручку. Після цього на моніторі з'явиться значення регульованого параметра зварювання у вигляді горизонтальної шкали (рис. 3.15).



Рисунок 3.15 - Налаштування швидкість подачі дроту

4 - Поверніть ручку регулювання вліво або вправо, щоб змінити значення обраного параметра. Нове значення параметра зварювання буде застосовано негайно.

У режимі синергії зміна будь-якого з параметрів, таких як швидкість подачі дроту, товщина листа, зварювальний струм або зварювальна напруга, також негайно змінить інші параметри.

5 - Натисніть кнопку для відображення списку параметрів зварювання на панелі керування.

6 - Налаштуйте зварювальну систему індивідуально відповідно до вашого застосування та уподобань, встановивши відповідні параметри процесу.

Для встановлення необхідної подачі захисного газу необхідно:

1 – Відкрити вентиль газового балона.

2 – Натиснути на панелі керування кнопку «Перевірка газу». Розпочнеться подача газу через зварювальний пальник.

3 – Повертайте регулювальний гвинт редукційного клапана газового редуктора до тих пір, поки манометр не покаже потрібну швидкість подачі газу.

4 – Ще раз натиснувши на кнопку «Перевірка газу» подача газу припиниться.

1 – Для початку зварювання на панелі керування необхідно натиснути Welding (Зварювання). На моніторі апарату відобразяться параметри зварювання (рис. 3.16).



Рисунок 3.16 – Початок зварювання

Струм та електроди можуть спричинити травми або пошкодження. Тому, натискаючи на перемикач пальника, дотримуйтесь наступних умов:

- Розташуйте пальник якомога далі;
- Не спрямовуйте пальник на людей;
- Переконайтеся, що електрод не контактує з струмопровідними або заземленими частинами (наприклад, корпусом апарату або зварювальним столом).

2 - Натисніть кнопку пальника, щоб розпочати процес зварювання.

Після завершення зварювання поточні значення зварювального струму, зварювальної напруги та швидкості подачі дроту зберігаються, а на дисплеї відображається "HOLD".



Зверніть увагу, що налаштування, виконані на панелі керування компонента системи (наприклад, кабельного фідера або пульта дистанційного керування), можуть бути недоступні на панелі керування блоку живлення.

### 3.3 Техніка виконання зварних з'єднань

Виліт електродного дроту – це довжина нерозплавленого дроту, яка виступає з контактної наконечника. Значення вильоту електроду має бути в межах 5-10 мм і забезпечує стійке горіння дуги, хороше проплавлення металу та формування поверхні шва.



Рисунок 3.17 – Вплив вильоту електродного дроту на формування зварного шва

Дуже маленький виліт зварювального дроту може призвести до нестабільного горіння дуги та перегріву контактної наконечника. А дуже великий виліт призводить до великого розбризування металу, нестабільного горіння дуги та поганого проплавлення.

У MIG/MAG зварюванні величезне значення має також розміщення зварювального пальника відносно зварюваної деталі і напрямку зварювання. Зварювання може виконуватися вертикально, кутом від себе і кутом до себе.

Під час зварювання кутом на себе пальник позиціонується так, щоб напрямок подачі дроту був протилежним до напрямку переміщення пальника. При зварюванні кутом вперед напрямок подачі електродного дроту збігається з напрямком руху пальника. Вертикальне зварювання – це коли напрямок подачі електродного дроту є перпендикулярним до напрямку руху пальника. Для зміни способу зварювання немає необхідності змінювати напрямок переміщення пальника. Достатньо змінити його нахил.

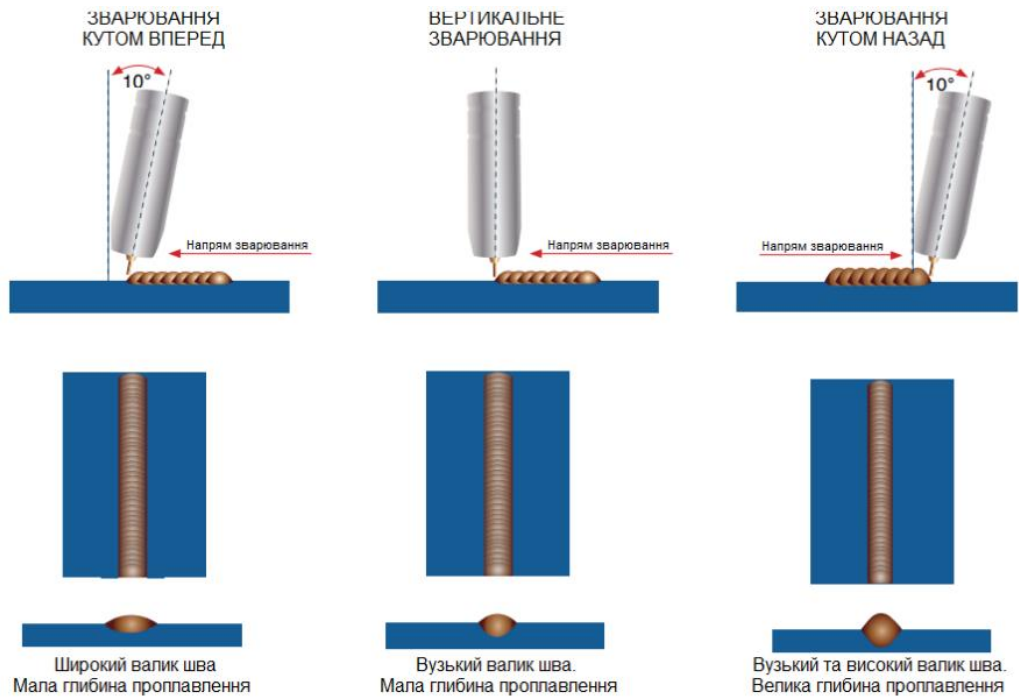


Рисунок 3.18 – Вплив нахилу пальника на формування валика та провар шва

Під час зварювання під кутом назад пальник розташовують так, щоб напрямок подачі дроту був протилежним до напрямку руху пальника. При зварюванні під прямим кутом напрямок подачі електродного дроту збігається з напрямком руху пальника. Перпендикулярне зварювання - це зварювання, при якому напрямок подачі електродного дроту перпендикулярний до напрямку руху пальника. Для зміни способу зварювання не обов'язково змінювати напрямок руху пальника. Достатньо лише змінити нахил.

Зварювання під зворотним кутом призводить до високої стабільності дуги та меншого розбризкування металу. Цей метод використовується для з'єднання більш товстих металів з більшою глибиною проплавлення, оскільки тепло концентрується в зварювальній ванні. Крім того, зварювальник може бачити зварювальну ванну, що покращує якість шва.

Зварювання під кутом використовується для зварювання тонких металів. Воно забезпечує меншу глибину проплавлення, ширші зварні шви та вищу швидкість зварювання..

Вертикальне зварювання найчастіше використовується на автоматизованому обладнанні або за необхідності. Коли пальник розміщується

в такому положенні, утворюється вузький шов з невеликою глибиною проплавлення.

Основна роль захисного газу полягає в захисті розплавленого металу в зварювальній ванні від контакту з киснем, азотом і водою, що містяться в навколишньому повітрі. Захисний газ подається з балона через пальник і сопло, замінюючи повітря і створюючи газову хмару навколо зварювальної ванни і дуги. Для зварювання вуглецевої сталі використовується суміш чистого  $\text{CO}_2$  і аргону  $\text{Ar-CO}_2$ .

При зварюванні газовими сумішами  $\text{Ar-CO}_2$  зварювальна ванна тонша, ніж при зварюванні  $\text{CO}_2$ ; зварювальна дуга сумішею  $\text{Ar-CO}_2$  характеризується меншим розбризуванням. Однак це може призвести до утворення пористості у зварному шві.

Використання вуглекислого газу  $\text{CO}_2$  забезпечує досить глибоке проплавлення і рекомендується для зварювання більш товстих металів. Недоліком цього газу є менша стабільність зварювальної дуги та більша ймовірність розбризування. Крім того, його можна використовувати тільки для коротких дуг.

Для зварювання нержавіючої сталі використовуються дві газові суміші:  $98\% \text{ Ar} + 2\% \text{ CO}_2$  - рекомендується для промислового зварювання нержавіючої сталі і забезпечує гарне розтікання розплавленого металу;  $98\% \text{ Ar} + 2\% \text{ O}_2$  - використовується для кращого змочування поверхні кромки основного металу;  $98\% \text{ Ar} + 2\% \text{ O}_2$  - використовується для зварювання нержавіючої сталі і для зварювання нержавіючої сталі..

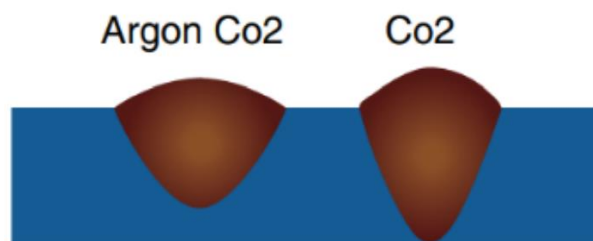


Рисунок 3.19 – Вплив виду захисного газу на провар шва

Кут нахилу при переміщенні зварювального пальника від  $5^\circ$  до  $15^\circ$  ідеально підходить для зварювання і забезпечує хороший рівень контролю зварювальної ванни. Кут нахилу понад  $20^\circ$  призводить до нестабільного горіння дуги, гіршого перенесення металу, меншої глибини провару, а також, більшого розбризкування.



Рисунок 3.20 – Вплив нахилу пальника на якість зварювання

Швидкість переміщення зварювального пальника - це параметр, який визначає швидкість зварювання. На неї впливають

- Товщина заготовки: зі збільшенням товщини швидкість зварювання зменшується; і навпаки, зі збільшенням товщини швидкість зварювання зменшується;

- Швидкість подачі електродного дроту: чим вища швидкість подачі, тим вища швидкість зварювання;

- Напрямок зварювання: зварювання під прямим переднім кутом призводить до збільшення швидкості зварювання.

Швидкість переміщення пальника залежить від умов зварювання та навичок зварювальника..

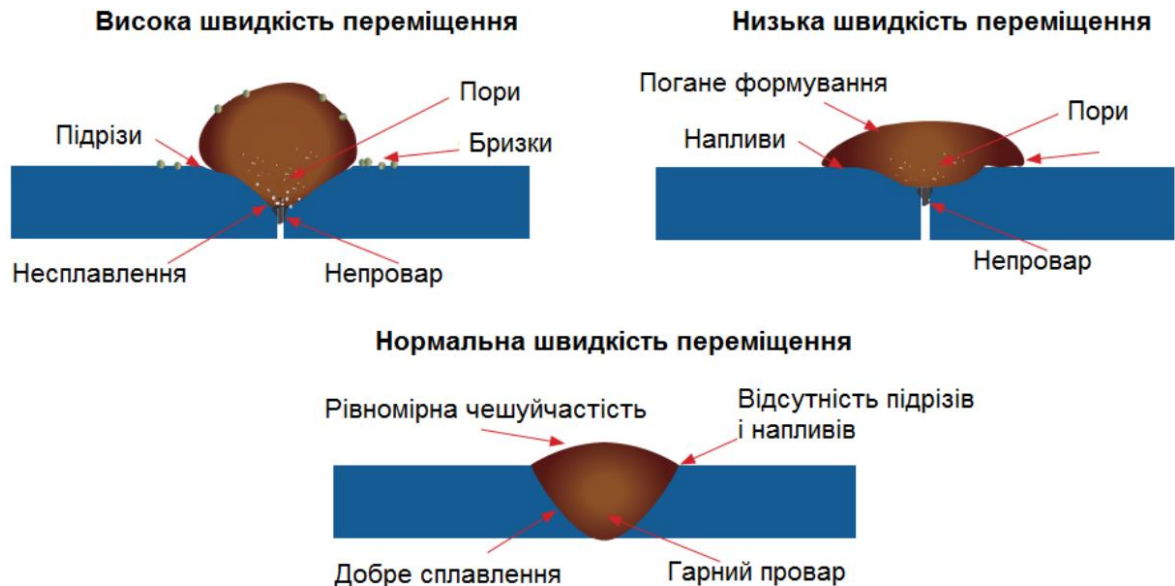


Рисунок 3.21 – Вплив швидкості переміщення пальника на якість зварювання

Швидкість переміщення повинна бути підібрана відповідно до величини струму зварювання, товщини та виду заготовки, технологічних вимог до зварного шва.

### 3.4 Методика оцінки процесу зварювання

При проведенні експериментальних досліджень виходячи з тих наявних методів та засобів які я міг використати в даній роботі, я притримувався даної методики оцінки процесу зварюванні а саме:

Візуальний контроль який включає в себе: перевірка зварювального шва на наявність бризок, перевірка шва на наявність підрізів які впливають на міцнісні параметри шва.

Було проведено замір катету спеціальним калібром для виміру катетів зварних швів.



Рисунок 3.22 – Вимірювання катета шва

Також було розрізано зварну деталь і проведено контроль проплавлення зварного шва, відсутність пор в середині шва.

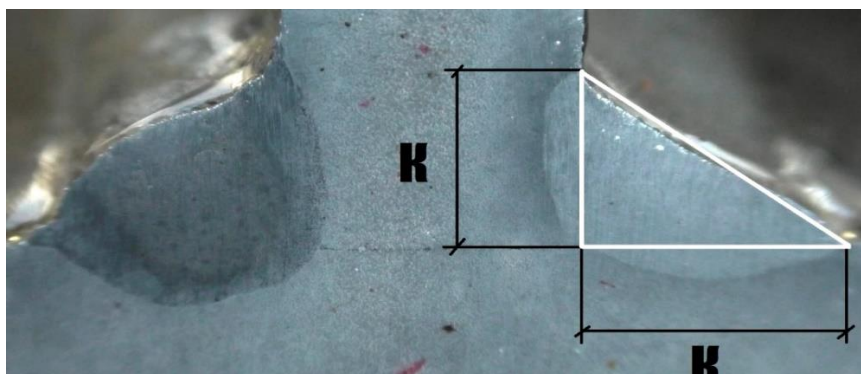


Рисунок 3.23 – Поперечний розріз таврового зварного з'єднання

Пізніше був оглянутий шов по всій довжині на наявність напливів та однорідності шва.

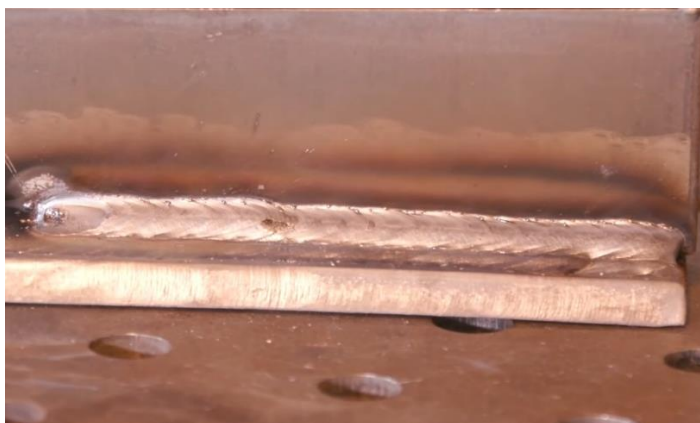


Рисунок 3.24 – Загальний вигляд кутового зварного шва таврового з'єднання

### 3.5. Результати дослідження

В ході даної кваліфікаційної роботи було проведено дослідження впливу режимів механізованого зварювання на якісні параметри зварних швів і отримано результати.

При зварюванні на невеликих струмах 140-150 ампер в нас утворився режим переносу металу коротким замиканням "Short circuit transfer". Параметри при яких проводилось зварювання на даному режимі:

Вольтаж - 19 В

Подача зварювального дроту - 8,9 м/хв,

Індукція - 4/10

Довжина дуги - 0,5.

Газ - Аргон 80% ,Вуглекислий газ 20%,

Швидкість зварювання 0,3 м/хв.

Діаметр зварювального дроту – 1.0 мм.

Витрата газу 10 л/хв

Як ми може бачити на рисунку 4.1 присутні не великі каплі від розбризувань які потрібно буде прибрати за допомогою абразивних кругів. Дещо випуклий зварювальний шов, рівномірний без подрізів і гарячих тріщин що свідчить про правильні налаштування.

На рисунку 3.26 в розріз даної деталі ми можемо бачити невелику глибину проплавлення що призводить до невеликої міцності даного шва.



Рисунок 3.25 – Зразок зварного шва, виконаного в режимі переносу металу коротким замиканням

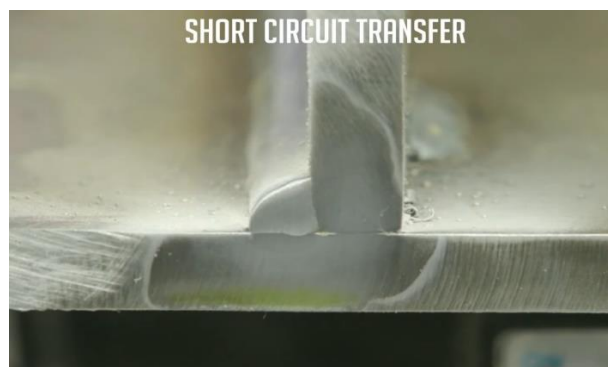


Рисунок 3.26 – Розріз зварного шва, виконаного в режимі переносу металу коротким замиканням

Змінивши на зварювальному апараті налаштування ми вийшли на перехідний режим “Globular transfer”. Даний режим утворюється при струмах 170 ампер для даної товщини зварювального дроту. Параметри зварювання були наступними:

Вольтаж – 27,5

Подача зварювального дроту –  
11,4 м/хв.

Індукція 5/10

Довжина дуги - -4.

Газ – Вуглекислий газ 100%

Швидкість зварювання 0,3 м/хв

Витрата газу 13 л/хв



Рисунок 3.27 – Зразок зварного шва, виконаного в режимі перехідної дуги

На рисунку зображено зварювальний шов на перехідному режимі. Він характеризується великим розбризуванням яке ми можемо бачити. Дані бризки дуже важко відчистити і на це потрібно багато часу. В цьому режимі навіть при заміні зварювального газу на суміш, бризки не зникнуть, тому даний режим потрібно уникати.



Рисунок 3.28 – Переріз зварного шва, виконаного в режимі перехідної дуги

Розрізавши деталь ми бачимо що глибина проплавлення збільшилася не тільки за рахунок підвищення сили струму але й за рахунок фізичних процесів



які протікали в даному режимі. Шов менш випуклий ніж у випадку з першим режимом. Шов однорідний в двох місцях були подрізи металу. Це вже більш помилка зварювальника.

При подальших змінах налаштувань ми вийшли на режим струйного переносу “spray transfer” даний режим появляється при струмах від 220 ампер для даної товщини зварювального дроту.

Параметри зварювання даного режиму:

Вольтаж – 30 В

Подача зварювального дроту – 11,4 м/хв

Газ – Аргон 95% Вуглекислий газ 5%

Витрата Газу 17 л/хв.

На рисунку 3.29 зображено зварювальний шов при струменевому перенесенні металу.

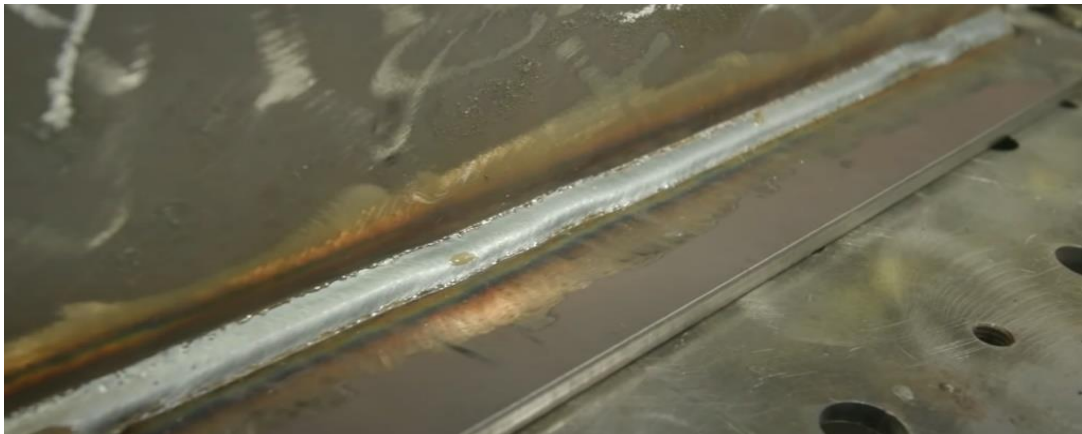


Рисунок 3.29 – Зразок зварного шва, виконаний в режимі струменевого перенесення металу

Ми може замітити що не утворилося ніякий бризок це завдяки що метал перетікає струменем і не утворюються короткі замикання які є причиною бризок на інших режимах. Шов однорідний без подрізів. Даний режим позволяє без різних рухів пальника і більшої кількості проходів робити великий катет.



Рисунок 3.30 – Переріз зварного шва, виконаний в режимі струменевого перенесення металу

На рисунку 3.30 ми бачимо чітко виражений провар деталі за рахунок більшої концентрації дуги в звалювальний шов. Випуклість майже відсутня. Для даного режиму не потрібне зачищення шва оскільки бризки відсутні.

І останній режим який ми досліджували це імпульсний або пульс режим. Переваги даного режиму в тому що він керовано за допомогою зміни сили струму переносить метал краплями майже не утворюючи бризок.

Параметри зварювання були такими:

Струм 200 А

Корекція вольтажу -4

Швидкість зварювання 0,35м/хв

Газ – Аргон 92% Вуглекислий газ 8%

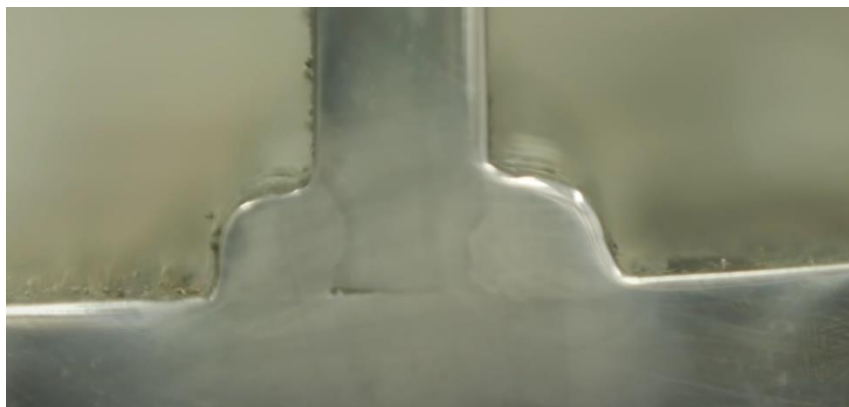


Рисунок 3.31 – Переріз зварного шва, виконаний в імпульсному режимі

На даному рисунку праворуч ми бачимо зварювальний шов зварений у режимі пульс. Він має хороший провар навіть кращий ніж у перехідному

режимі. Практично відсутність бризок які не потрібно буде потім зачищати. Відсутність підрізів і не однорідностей шва.

### 3.6 Висновки за розділом

Отож підбиваючи підсумки даної роботи ми можемо зауважити що при зварюванні на короткому замиканні у нас утворюється невеликі бризки і малий провар, даний режим більше підходить для зварювання тонких матеріалів. Використанні суміші газу дещо зменшує утворення бризок на поверхні деталі. В перехідному режимі в нас збільшується провар за рахунок збільшення сили струму але тим часом і збільшується кількість бризок і вони стають більше і їх важче відчистити тому даний режим стараються проскакувати або залишатися на короткій дузі або зразу переходити на струменеве перенесення металу або пульс режим. При струменевому режимі зварювання забезпечується найкращий провар з усіх режимів відсутність бризок, швидкість зварювання збільшується в 1,7 раз але потрібно для цього режиму використовувати лише суміші газів оскільки якщо ми тих самих параметрах зварювального апарату будемо зварювати в стовідсотковому стовідсотково вуглекислоті ми будемо залишатися в перехідному режимі. У імпульсному режимі або в пульс режимів ми за рахунок даного режиму ми досягаємо близького до струменевого переносу металу навіть на менших силах струму що дозволяє нам зварювати менш тонкі або тонкі метали без бризок і з меншою тепловкладенням в зварювальний шов. Даний режим має більшу швидкість зварювання ніж зварювання на режимі короткого замикання і в перехідному режимі тому якщо на підприємствах які зварюють не дуже товсті метали бажане або потрібно зменшити деформації металу використання даного режиму зварювання забезпечить швидкість зварювання більшу якість проплавлення і якість самого шва зменшить кількість бризок що дозволить не обробляти шов після зварювання.

## 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

В даній кваліфікаційній роботі було проведене для впливу впливу режимів механізованого зварювання на якісні параметри зварних швів .Основний вид зварювання - автоматичне та напівавтоматичне в середовищі захисного газу ( $Ar+CO_2$ ), отже основні проблеми з якими ми зіштовхнемося це:

- зменшення викиду шкідливих домішок в повітря;
- захист зорової системи від випромінювання в різних діапазонах (ультрафіолетове, видиме, інфрачервоне);
- забезпечити пожежну безпеку і електробезпечність;
- забезпечення захисту від окалин, бриск і виплесків розплавленого металу, іскор;
- безпечну експлуатацію механізмів зварювального апарату.

### 4.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих чинників

#### Мікроклімат.

Метеорологічні умови або мікроклімат у виробничих умовах досліджується такими параметрами: температурою повітря  $T$ ,  $^{\circ}C$ ; відносною вологістю  $W$ ,%; швидкістю потоку повітря на робочому місці  $V$ , м/с; барометричним тиском на робочому місці  $P$ , мм.рт.ст. Задовільні допуски температури, відносної вологості, швидкості потоку повітря в робочій зоні і барометричному тиску для даної категорії приведені в табл.4.1.

Таблиця 4.1 Оптимальні параметри мікроклімату

Період року	$T$ , $^{\circ}C$	$W$ ,%	$V$ ,м/с	$P$ , мм.рт.ст.
Холодний	17...19	40...60	0,3	~760
Теплий	20...22	40...60	0,4	~760

Зрівнюючи дані параметри з параметрами мікроклімату на ділянці цеху (таблю 4.1) можна зробити припущення, що не потрібно проводити додатковий розрахунок спеціальних засобів зміни мікроклімату для цієї ділянки цеху.

Таблиця 4.2 Реальні параметри мікроклімату

Період року	T, С	W,%	V, м/с	P, мм.рт.ст.
Холодний	15...21	75	0,4	~760
Теплий	28	60...65	0,5	~760

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сталі Ст3сп згідно з ДСТУ 2651, %

Шкідливі речовини.

При MIG/MAG зварюванні в зону дихання людини будуть потрапляти зварювальні домішки, що містять у собі окисли різноманітних металів (Mn, Cr, Ni, Cu, Ti, Al, Fe, W і ін.). Ось ці окисли й інші з'єднання, а також токсичні гази (окис вуглецю, азот, фтористий водень та інші). При використанні MIG/MAG зварювання у середовищі вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>) на 1кг наплавленого металу виділяється в середньому: 8...15 г пилу; 0,2...1,8 г окислів Mn; 0,02...2 г окислів Cr; 0,1...0,5 г окислів Ni; 2,7 г окислів C; 0,062 г окислів N.

Виробниче освітлення.

Сучасне промислове освітлення висуває високі вимоги не тільки з гігієнічної точки зору, але й з технічної та економічної:

Достатнє однорідне світло повинно бути забезпечене тільки на робочій поверхні, але і в навколишньому просторі;

Освітлення робочого місця повинно відповідати зоровим вимогам роботи відповідно до санітарних норм праці;

При природному освітленні повинні бути передбачені затіняючі пристрої(жалюзі, козирки, люмінесцентні склоблоки, склопластик)для запобігання потрапляння в приміщення прямих сонячних променів і створення різких тіней;

-Рівень освітленості повинен бути постійним протягом тривалого часу;

-У полі зору не повинно бути прямих і відбитих відблисків;

-Необхідно дотримуватися оптимальної спрямованості світлового потоку;

Необхідний спектральний склад світла повинен бути підібраний таким чином, щоб забезпечити правильну передачу кольору.

Газорозрядні лампи слід використовувати в першу чергу для освітлення промислових об'єктів, незалежно від використовуваної системи освітлення, оскільки вони більш економічні і мають більші переваги в освітленні в порівнянні з лампами розжарювання.

Мінімальна величина освітленості встановлюється за умовами зорової роботи, що визначаються мінімальним розміром об'єкта розрізнення, контрастом між об'єктом і фоном та характеристикою фону (БНіП 2-А.9-71).Роботи, що виконуються робітниками, відносяться до робіт з низькою точністю і віднесені до розряду 5.

Шуми і вібрація.

Основними джерелами механічного шуму та вібрації є каналні та напівавтоматичні зварювальні апарати (двигуни, редуктори та механізми з окремими кінематично пов'язаними рухомими елементами, що викликають тертя та зіткнення). Джерелами аеродинамічного шуму є електромагнітні шуми від вентиляторного обладнання, трансформаторів, випрямлячів та інших електричних машин.

У цьому випадку вібрація незначна через низьку швидкість і відносно великі розміри рухомих частин.

## Випромінювання.

У цьому випадку зварювання відбувається автоматично, тому шкідливі ультрафіолетові промені мало впливають на організм людини, але кінець осі захищений листовим металевим екраном, щоб повністю захистити зварювальника.

Інфрачервоне випромінювання: покриття поверхні у внутрішніх порожнинах. За цих умов використовується режим зварювання низьким струмом (а отже, низька тепловіддача), а час зварювання відносно короткий. Це означає, що небезпека від теплового випромінювання не є смертельною і не впливає на організм людини..

## Електробезпека.

На робочому місці використовується обладнання та прилади з мережевим живленням 220 В та 380 В. Основними причинами ураження електричним струмом є випадковий дотик до струмоведучих частин або наближення до них на небезпечну відстань, потрапляння напруги на металеві конструктивні частини (корпуси, кожухи) електрообладнання внаслідок пошкодження ізоляції або з інших причин, потрапляння напруги при відключенні струмоведучих частин, які обслуговує обслуговуючий персонал, в результаті випадкового включення обладнання, якщо воно знаходиться під напругою, або при короткому замиканні в електричному кабелі і подачі напруги на площину землі.

Промислові установки є особливо небезпечними з точки зору ураження електричним струмом.

Основним фактором, що визначає ступінь ураження людини електричним струмом, є його інтенсивність, яка визначається за трьома критеріями: пороговий бетонний (5-7 мА постійного струму), пороговий нерозрядний (50-80 мА) і пороговий оптоволоконний (до 300 мА).

## Механічні небезпеки.

Джерелами травм на даній ділянці можуть бути рухомі частини пристрою.

Пожежонебезпека.

За вибухопожежною та пожежною небезпекою наші будівлі належать до категорії "Г" (негорючі речовини, а також гарячі та розплавлені речовини з виділенням тепла, іскор, полум'я, горючих газів і рідин). Клас вогнестійкості "1" (вогонь не поширюється на основні конструкції будівлі)..

Балони.

Не носіть балон на плечі, навіть на короткі відстані. Існує ризик травмування, зіткнення з твердими предметами або вибуху балону. Не нагрівайте замерзлі балони або CO<sub>2</sub>-редуктори полум'ям пальника або струменем пари; можна відігрівати балони водою при температурі 20-25°C. Під час роботи зріджений CO<sub>2</sub> буде випаровуватися. Балони необхідно встановлювати на відстані не менше 5 м від найближчого електронагрівального приладу. На робочому місці балони повинні бути розміщені вертикально в спеціальних шафах або стелажах або розміщені і закріплені горизонтально.

## 4.2 Шляхи покращення безпеки праці

Оптимізація параметрів повітряного середовища.

Для оздоровлення повітряного середовища в зварювальному цеху передбачені такі заходи:

- місцевий відсмоктувач;
- загальнообмінна приточно-витяжна вентиляція.

Застосування місцевої витяжної вентиляції засновано на уловлюванні і видаленні шкідливих речовин безпосередньо у джерела їхніх утворень.



У системі приточно-витяжної вентиляції повітря надається в помешкання приточною вентиляцією, а видаляється витяжною, працюючими одночасно. Місце для забору свіжого повітря вибирається з урахуванням переважного напрямку вітру, удалині від місць забруднень.

Оптимізація виробничого освітлення.

Відповідно до чинних норм штучне освітлення повинно бути не менше 300лк. Рекомендується збільшити освітленість до 350-400лк.

Для якісного освітлення робочих місць передбачені такі заходи: коефіцієнт природної освітленості варто приймати не нижче 1,28% при верхньому і комбінованому освітленні, і не нижче 1% при бічному освітленні; використання газорозрядних джерел світла, що дають можливість підвищити рівень освітленості на місцях зварювальних робіт до 150лк, при загальному освітленні без додаткових витрат електроенергії; обмеження прямого відбитка за рахунок добору конструкцій світильників; очищення світильників і вікон не рідше 1 разу в 3 місяця; фарбування стін титановим або цинковим білилом із високим коефіцієнтом відбитка для видимого світла і з низьким коефіцієнтом відбитка для ультрафіолетового світла.

Захист від випромінювань в оптичному діапазоні.

Для захисту від ультрафіолетового випромінювання застосовуються:

- екранування робочих місць ширмами, щитами;
- спеціальне малювання приміщень (фарбами світлого забарвлення з додавання оксиду цинку);
- засоби індивідуального захисту (захисні щитки або маски зі спеціальними світофільтрами, що відповідають інтенсивності випромінювання, відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТ 12.4.080-79).

- засоби індивідуального захисту (спецодяг який не підтримує горіння, стійкого до променистої енергії матеріалу, світوفільтри згідно нормам ДЕРЖСТАНДАРТ 12.4.080-79).

Захист від шуму та вібрації.

- Для захисту від шуму передбачено:
- Для захисту від вібрацій (ГОСТ 12.1.012-78 і СН3044-84) передбачено:
  - зниження рівня вібрації в джерелі за рахунок зменшення неврівноваженості обертаючихся має допустиме балансуванням відповідно до ГОСТ22061-76, використання підшипників ковзання замість кочення, що дозволяє зменшення рівня вібрацій у шпindelьних вузлах;
  - віброізоляція машин, обладнання за рахунок використання гумових ізоляторів;
  - пасивна ізоляція звуку (вібро-ізольована підлога, підставки на робочих місцях).
- У результаті рівень вібрації L знижується на 37% (ГОСТ26568-85).
- Крім цього передбачені:
  - архітектурно-інженерно планувальні заходи: доцільне розміщення робочих місць, місця шумозахисту;
  - організаційно-технічні заходи: використання обладнання з малим рівнем шуму.

Безпечна експлуатація балонів.

Балони слід зберігати в спеціальному приміщенні, а в разі зберігання на відкритому повітрі - під накриттям для запобігання від атмосферних явищ і прямих сонячних променів.

У робочій зоні наповнені газом балони повинні бути закріплені по середині ланцюгами або хомутами.

Забезпечення електробезпеки.

Загальні вимоги до зварювального обладнання

- Ступінь захисту джерел струму для дугового зварювання та шаф керування, призначених для роботи у закритих приміщеннях, повинна бути IP11 по ГОСТ 14254–69,

- Напруга холостого ходу джерел струму для дугового зварювання при номінальній напрузі в мережі не повинно перевищувати:

100 В ефективного значення – для джерел струму постійного струму.

- Обмежувач напруги повинен знижувати напругу холостого ходу на вихідних обжимах зварювального ланцюгу до значення, що не перевищує 12В, не пізніше, ніж через 1с після розмикання зварювального ланцюгу.

- Номінальна напруга двигунів зварювальної установки не повинно перевищувати 42В змінного струму чи 110В постійного.

- На видимому місці корпусу зварювального випрямляча класів захисту 01 и 1 по ГОСТ 12.2.007.0–75 повинен бути напис «Без заземлення не включать!».

- Шланг для подачі зварювального дроту від механізму подачі до пальника шлангового напівавтомату для дугового зварювання повинен бути покритий електроізоляційним матеріалом.

- Електричні вироби з точки зору безпеки мусять відповідати вимогам ГОСТ 2.2.007.0-75.

Відповідно до ГОСТів: 12.2.007.0 – 75; 12.1.019 – 79; 12.2.007.8 – 75; для забезпечення електробезпеки передбачають:

- установку ізоляційних огорожень та інших засобів, що забезпечують недоступність струмоведучих частин;
- надійна ізоляція частин, що знаходяться під струмом від випадкового дотику рук зварника до зварювальних виробів. Опір ізоляції окремої ділянки мережі не менш ніж 0,5 МОм;
- вибір електрообладнання з урахуванням категорії, груп вибухо-небезпеки сумішей, рівня і виду вибухо-пуску (ГОСТ 18620 – 73, ГОСТ 12.2.020 - 76).

Так як у даному випадку маємо електромережу з глухо-заземленою нейтраллю, а максимальна напруга не перевищує 1 кВ, найбільш придатним та економічно доцільним засобом є система захисного нуля тобто занулення, наведена на рис. 6.1.

Принцип дії занулення – перетворення замикання на корпус в однофазне короткочасне замикання, тобто замкнення між фазним L та нульовим N проводом з ціллю створення великого струму, придатного забезпечити спрацювання захисту і тим самим автоматично підключити ушкоджений пристрій від мережі. Зануленню підпадають нижче наведенні частини пристроїв:

- несучі корпуси трансформаторів, апаратів, електричних машин;
- кабелі електричних апаратів;
- вторинні обмотки вимірювальних трансформаторів;
- каркаси крос-модульних щитів керування;
- обладнання, розміщене на рухомих частинах машин та механізмів.

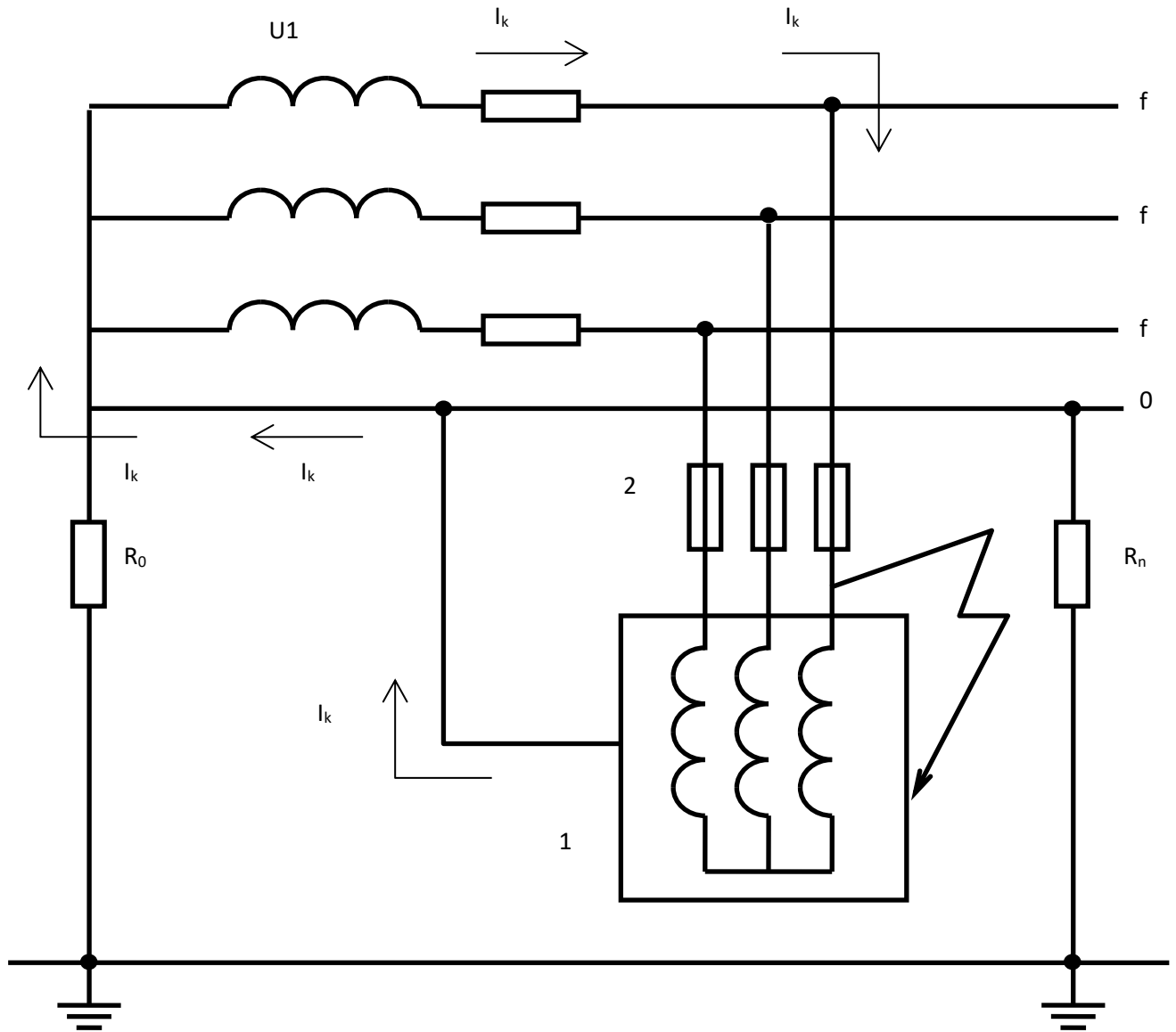


Рисунок 4.1 - Принципова схема занулення

1- корпус; 2- апарати для захисту від струму короткого замкнення (запобіжником з плавким способом дії)  $R_0$ - опір заземлення нейтралі джерела струму;  $R_n$ - опір повторного заземлення нульового захисного провідника;  $I_k$ - струм короткого замикання.

Пожежна безпека.

Пожежна безпека (ГОСТ 12.1.004-85) забезпечується:

- запобіганням спалаху ізоляції при короткому замиканні за рахунок максимального захисту від діючого струму;

- застосування пожежної сигналізації з датчиком диму і т.д.
- при організації технологічного процесу дотримання всього спектру вимог електростатичної безпеки ГОСТ 12.1.018-79

При автоматичному зварюванні з використання діоксиду вуглецю допускається розлітання розплавленого металу, яке може призвести до виникнення пожежі, тому легкозаймисті предмети повинні знаходитись від робочих місць на 5м. Пошкодження кабелів зможе призвести до створення пожежі, тому в таких приміщеннях вона повинна бути в ПВХ гофрах або метало рукаві. Первинними пристроями гасіння пожежі на робочому місці є: протипожежні щити, пожежний гідрант, вогнегасники (ВП-9, ОП-1).

Робоче місце повинно бути обладнано засобами колективного й індивідуального захисту працюючих працівників від небезпечних чинників пожежі і проти-димного захисту. При виникненні пожежі працівники евакуюються через проходи в сусідні помешкання і через хвіртки на вулицю. Електроустаткування в цеху відповідає класу зони пожаро- і вибухово-безпеки (нормального виконання).

Забезпечення нормалізація екологічної ситуації.

Для захисту навколишнього середовища використовуються наступні досягнення наукового прогресу в області екологічної інженерії. Повітря очищається від викидів двоступеневою фільтрацією з використанням фільтру грубої очистки, який затримує частинки бруду до 100мкм на першому етапі та тканини FPP-15(фільтрація частинок бруду 15мкм) на другому етапі, з ефективністю очищення 0,99, що зменшує шкоду навколишньому середовищу на 18-24%.

Енергетичне забруднення зменшується за допомогою покриття території залізобетонними стінами які затримують дане забруднення. В результаті забруднення знижується до ( $E \leq 5000V$ ), що є допустимо і мінімально шкодить навколишньому середовищу.

Акустичне забруднення спадає до 40 дБ за рахунок проти шумних заходів, що нижче допустимого рівня ( $L < 45$  дБ) для прилеглий до будинку ділянці.

#### 4.3 Моделювання процесу формування і виникнення травмонебезпечної ситуації під час зварювання

Одним з основних методів моделювання небезпечних ситуацій є графічне схематичне логічне моделювання потенційних аварій, травм і катастроф. Цей метод базується на створенні робочих (операторських) схем, відмов і помилок в різних системах. Для того, щоб визначити ймовірність настання травматичної аварійної події, дані повинні бути оброблені математично. Метою такого розрахунку є зниження виробничого травматизму.

Шляхом вивчення моделі процесу та ймовірності настання травматичних та аварійних подій від початку небезпечного процесу до настання небезпечного результату. Якщо проводиться розслідування, то завжди можна знайти події (явища), які спричиняють травмонебезпечні та аварійні ситуації.

Розглянемо нещасний випадок на виробництві, що стався під час автоматичного зварювання. У цьому випадку працівник може бути травмований внаслідок ураження електричним струмом, отруєння токсичними газами або опіків. Основні події розміщуються у верхній частині аркуша, а інші події - зверху вниз. У моделі головна подія має форму кола. Непояснені основні події зображені у вигляді ромбів, а прямокутники - як події, що відбуваються в результаті дії факторів.

Математичний процес моделі починається з крайньої лівої гілки, події якої пронумеровані знизу вгору, починаючи з головної події і закінчуючи головною подією. Значення подій відображаються безпосередньо в символах відображення подій. Ймовірність виробничих подій визначається виробничими даними. Наприклад, базовою подією є "охорона праці". Щоб визначити ймовірність, необхідно визначити, наскільки (%) завод має ідеальний рівень адекватного управління. Якщо цей рівень управління встановлений на рівні

20% або 30%, то ймовірність становить 0,2 і 0,3 відповідно. Якщо управління не здійснюється, ймовірність "не здійснюється" дорівнює 1; якщо управління є повним, відповідна ймовірність дорівнює 0. Для математичного обчислення ймовірності випадкової події в логічній імітаційній моделі використовується наступне рівняння, як зазначено.

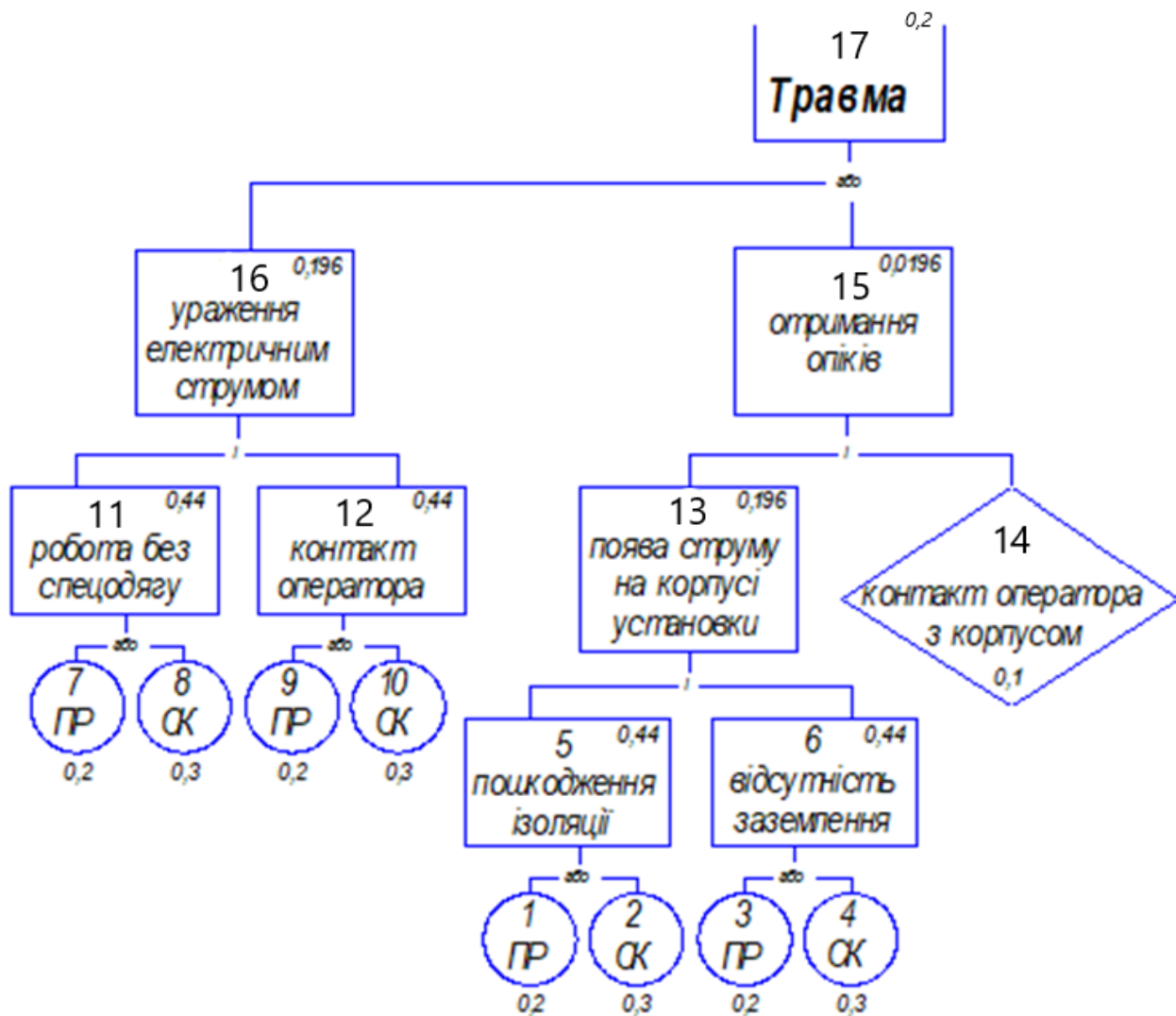


Рисунок 4.2 - Модель процесу формування та виникнення травми

На даній схемі графічно відображено математичну обробку даних на виробництві про нещасні випадки.

Ймовірність події  $P_5$  визначаємо наступним чином

$$P_5 = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2 = 0,2 + 0,3 - 0,2 \cdot 0,3 = 0,44 \quad (5.1)$$



Ймовірність подій  $P_6, P_{11}, P_{12}$ , буде рівною події  $P_5$ , оскільки базові події для них є однаковими.

Ймовірність події  $P_{13}$

$$P_{13} = P_5 \cdot P_6 = 0,44 \cdot 0,44 = 0,194 \quad (5.2)$$

Ймовірність події  $P_{15}$

$$P_{15} = P_{13} \cdot P_{14} = 0,194 \cdot 0,1 = 0,0194 \quad (5.3)$$

Ймовірності подій  $P_{16}$  буде рівною події  $P_{13}$ , оскільки події  $P_5, P_6, P_{15}, P_{16}$  рівні між собою.

Ймовірність події  $P_{17}$

$$\begin{aligned} P_{17} &= P_{15} + P_{16} - P_{15} \cdot P_{16} - P_{15} \quad (5.4) \\ P_{17} &= 0,0194 + 0,194 - 0,0194 \cdot 0,194 - \\ &\quad - 0,0194 = 0,2 \end{aligned}$$

Таким чином, на робочому місті під час зварювання елементів металоконструкцій автоматом для зварювання в середовищі захисних газів за наявності і можливості виникнення існуючих небезпек та небезпечних дій на 100 робочих місць ймовірність виникнення травмонебезпечної ситуації становить 0,20 (20 %).

Такий середній показник пояснюється великою кількістю небезпечних факторів та високими вимогами щодо кваліфікації працівників, якості виконання технологічного процесу та умов безпеки праці.

## 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

### 5.1 Нормування механізованого зварювання

Нормування процесу зварювання виконуємо для випадку зварювання деталі тавровим з'єднанням.

Основний час при даному виді зварювання під час виконання однопрохідних швів із заданою швидкістю визначають за формулою:

$$t_0 = \frac{60 \cdot l}{V_{зв}} \quad (5.1)$$

де  $l$  – довжина шва, м;

$V_{зв}$  - швидкість зварювання, м/хв.

Якщо процес ремонту передбачає виконання кількох швів, то основний час виконання 1 м зварного шва визначають за формулою:

$$t_0 = 60 \cdot \frac{l_1}{V_{зв1}} + \frac{l_2}{V_{зв2}} + \dots + \frac{l_n}{V_{звn}}, \quad (5.2)$$

де  $V_{зв1}, V_{зв2}, \dots, V_{звn}$  - швидкість зварювання відповідних швів.

Під час зварювання деталі приймемо її довжину 1000 мм. Тоді основний час її зварювання за один прохід згідно (5.1) становитиме:

$$t_{кд} = \frac{60 \cdot 1}{0,3} = 3,4 \text{ хв, зварювання на короткій дузі}$$

$$t_{пр} = \frac{60 \cdot 1}{0,3} = 3,4 \text{ хв, зварювання на проміжній дузі}$$

$$t_{імп} = \frac{60 \cdot 1}{0,35} = 2,9 \text{ хв зварювання в імпульсній дузі}$$

$$t_{стр} = \frac{60 \cdot 1}{0,5} = 2 \text{ хв зварювання на струменевій дузі}$$

Загальний час на виконання ремонтного зварювання  $T_{шт-к}$  формують декілька компонентів і визначається за формулою:

$$T_{шт-к} = t_0 + t_{пз} + t_d + t_{обс} + t_{п}, \quad (5.2)$$

де  $T_{шт-к}$  - штучно-калькуляційний час зварювання, год;

$t_0$  - основний час, год;

$t_{пз}$  - підготовчо-заключний час, год;

$t_d$  - допоміжний час, год;

$t_{обс}$  - час на обслуговування обладнання, год;

$t_{п}$  - час регламентованих перерв на особисті потреби, год.

Підготовчо-заклучний час  $t_{пз}$  включає в себе затрати часу на отримання виробничого завдання, отримання обладнання та матеріалів, підготовку обладнання до роботи. Під час проектування технологічних процесів приймають  $t_{пз} = 0,1 \cdot t_{осн}$  (10 % від основного):

$$t_{пзкр} = \frac{3,4 \cdot 10}{100} = 0,34 \text{ хв}$$

$$t_{пзпр} = \frac{3,4 \cdot 10}{100} = 0,34 \text{ хв}$$

$$t_{пзімп} = \frac{2,9 \cdot 10}{100} = 0,29 \text{ хв}$$

$$t_{пзстр} = \frac{2 \cdot 10}{100} = 0,2 \text{ хв}$$

Допоміжний час  $t_{д}$ , це час на заправку зварювального півавтомата електродним дротом  $t_e$ , підготовку та очищення зварних кромок  $t_{кр}$ , очищення швів  $t_{обр}$ , установку і закріплення деталей  $t_{уст}$ :

$$t_{д} = t_e + t_{кр} + t_{обр} + t_{уст}. \quad (5.3)$$

Час на заправку зварювального апарата електродним дротом приймають рівним  $t_e = 5$  хв.

Час, який затрачається на підготовку кромок  $t_{кр}$ , оскільки я не проводив розробку кромок тому даний параметри ми не враховуємо.

Час на встановлення і кріплення накладки  $t_{уст}$  залежить від її маси. Його вибирають з таблиць норм часу в залежності від маси виробу. Приймаємо  $t_{уст} = 3,2$  хв.

Таким чином значення  $t_{д}$  буде рівне:

$$t_{д} = 5 + 3,2 = 8,2 \text{ хв.}$$

Час на обслуговування обладнання  $t_{обс}$  затрачається на налаштування режиму зварювання і наладку допоміжного обладнання. Його приймають в межах:

$$t_{обс} = (0,06 \dots 0,08) \cdot t_{осн} \quad (5.6)$$

$$t_{кр} = 0,7 \cdot 3,4 = 2,38 \text{ хв.}$$

$$T_{пр} = 0,7 \cdot 3,4 = 2,38 \text{ хв.}$$

$$T_{імп} = 0,7 \cdot 2,9 = 2,03 \text{ хв.}$$

$$T_{стр} = 0,7 \cdot 2 = 1,4 \text{ хв.}$$

Час регламентованих перерв на особисті потреби зварювальника можна прийняти:

$$t_{п} = 0,4 \cdot t_{осн} \quad (5.7)$$

$$t_{кр} = 0,4 \cdot 3,4 = 1,36 \text{ хв.}$$

$$t_{пр} = 0,4 \cdot 3,4 = 1,36 \text{ хв.}$$

$$T_{імп} = 0,4 \cdot 2,9 = 1,16 \text{ хв.}$$

$$T_{стр} = 0,4 \cdot 2 = 0,8 \text{ хв.}$$

Отже, штучно-калькуляційний час на виконання операції зварювання становитиме:

$$T_{кр} = 3,4 + 0,34 + 8,2 + 2,38 + 1,36 = 15,68 \text{ хв.}$$

$$T_{пр} = 3,4 + 0,34 + 8,2 + 2,38 + 1,36 = 15,68 \text{ хв.}$$

$$T_{імп} = 2,9 + 0,29 + 8,2 + 2,03 + 1,16 = 14,58 \text{ хв.}$$

$$T_{стр} = 2 + 0,2 + 8,2 + 1,4 + 1,16 = 12,96 \text{ хв.}$$

## 5.2 Визначення собівартості зварювання деталі

Технологічна собівартість  $C_T$  зварювання рами причепа складається з суми витрат, обумовлених затратами ресурсів, необхідних для виконання технологічних операцій:

$$C_T = M_з + Z_e + Z_{пр}, \quad (5.8)$$

До матеріальних витрат відносяться затрати на метал підсилюючих накладок, зварювальні матеріали (дріт та газ), затрати електроенергії.

Матеріальні витрати  $M_з$  можна визначити за формулою:

$$M_з = C_{о.м} + C_{ен} + C_{ін}, \quad (5.9)$$

де  $C_{o.m}$  - вартість основних матеріалів, затрачених на один шов, грн;

$C_{ен}$  - вартість електроенергії, грн.;

$C_{ін}$  - вартість інших компонентів, з розрахунку на один шов, грн.

Вартість основних матеріалів  $C_{o.m}$  розраховують за формулою:

$$C_{o.m} = (C_{к.м} + C_{o.m} + C_{зв.пр}) \cdot K_{тр}, \quad (5.10)$$

де  $K_{тр}$  – коефіцієнт транспортно-заготівельних затрат ( $K_{тр} = 1,05 \dots 1,08$ ).

Вартість конструкційних матеріалів  $C_{к.м}$ , а саме полоси зі сталі 09Г2Д

$$C_{к.м} = m_{н} \cdot Ц_{к.м}, \quad (5.11)$$

де  $m_{к}$  - маса накладки, т;

В даній роботі ми розраховуємо лише зварювальні матеріали.

Витрати на електродний дріт розраховуємо за формулою:

$$C_{з.д} = M_{нм} \cdot \psi \cdot Ц_{з.д} \cdot K_{тр}, \text{ грн.} \quad (5.12)$$

де  $M_{нм}$  - маса наплавленого металу, кг;

$\psi$  - коефіцієнт розбризкування ( $\psi = 1,01$ ).

$Ц_{з.д}$  - вартість 1 кг зварювального дроту ( $Ц_{з.д} = 6532$  грн за 1 котушку 25 кг);

Прийнявши для розрахунків  $L_{шв} = 1,0$  м і  $F_{нм} = 60,5$  мм<sup>2</sup> отримаємо:

$$V_{нм} = L_{шв} \cdot F_{нм} = 100 \cdot 0,605 = 60,5 \text{ см}^3.$$

$$M_{нм} = V_{нм} \cdot \rho = 60,5 \cdot 7,85 = 474,9 \text{ г}$$

Приймаємо  $M_{нм} = 0,475$  кг

Отже, вартість зварювального дроту становитиме:

$$C_{е.д} = 0,475 \cdot 1,01 \cdot 261,52 \cdot 1,05 = 131,74 \text{ грн.}$$

Затрати на електроенергію  $C_{ен}$  визначаємо за формулою:

$$C_{ен} = \frac{\alpha_E \cdot W \cdot Ц_E}{V_{зв}}, \text{ грн} \quad (5.13)$$

де  $\alpha_E$  - питомі витрати електроенергії на 1 кг наплавленого металу, кВт · год/кг  
(для механізованого та автоматичного зварювання  $\alpha_E = 3 \dots 4$  кВт · год/кг);

$W$  - витрати електроенергії, кВт · год;

$Ц_E$  - ціна за 1 кВт/год; ( $Ц_E = 2,64$  кВт/год.)

$$C_{енкр} = \frac{3 \cdot 23,6 \cdot 2,64}{18}, = 10,38 \text{ грн}$$

$$C_{енпр} = \frac{3 \cdot 23,6 \cdot 2,64}{18}, = 10,38 \text{ грн}$$

$$C_{\text{енімп}} = \frac{3 \cdot 23,6 \cdot 2,64}{21}, = 8,90 \text{ грн}$$

$$C_{\text{енстр}} = \frac{3 \cdot 28,6 \cdot 2,64}{30}, = 7,55 \text{ грн}$$

Затрати на зварювальний газ визначаємо за формулою:

$$C_{\Gamma} = \frac{Ц_{\Gamma}}{V_{\Gamma}} * (W_{\Gamma})$$

Де  $Ц_{\Gamma}$  – ціна газу грн,  $V_{\Gamma}$  – Об'єм газу в балоні,  $W_{\Gamma}$  – витрата газу при зварюванні.

$$C_{\text{гпр}} = \frac{1600}{6300} * 9 = 2,28 \text{ грн.}$$

$$C_{\text{гкр}} = \frac{1600}{6300} * 7 = 1,77 \text{ грн.}$$

$$C_{\text{гімп}} = \frac{1600}{6300} * 9 = 2,28 \text{ грн.}$$

$$C_{\text{гстр}} = \frac{1600}{6300} * 12 = 3,04 \text{ грн.}$$

Отже, матеріальні витрати на зварювання становитимуть:

$$M_{\text{зкр}} = 131,74 + 10,38 + 1,77 = 143,89 \text{ грн.}$$

$$M_{\text{зпр}} = 131,74 + 10,38 + 2,28 = 144,4 \text{ грн.}$$

$$M_{\text{зімп}} = 131,74 + 8,90 + 2,28 = 142,92 \text{ грн.}$$

$$M_{\text{зстр}} = 131,74 + 7,55 + 3,04 = 142,33 \text{ грн.}$$

Кількість зварювальників приймаємо відповідно до кількості обладнання.

Приймаємо сумарну кількість основних робітників  $Ч_{\text{ор}} = 1$ .

Розрахунок заробітної плати та відрахування на соціальні потреби потребує визначення основної та додаткової заробітної плати, а також податкових виплат, які входять до собівартості.

Витрати на оплату праці  $З_{\text{пр}}$  розраховують за формулою:

$$З_{\text{пр}} = ЗП_{\text{о}} + ЗП_{\text{д}}, \quad (5.14)$$

де  $ЗП_{\text{о}}$  - основна зарплата, грн;

$ЗП_{\text{д}}$  - додаткова зарплата, грн..

Основна та додаткова заробітна плата за зварювання визначається за формулою:

$$Z_{\text{пр}} = (P_{\text{в}} \cdot K_{\text{пр}} \cdot K_{\text{д}} \cdot K_{\text{сс}} + D_{\text{шпр}}) \cdot Ч_{\text{ор}}, \quad (5.15)$$

де  $P_{\text{в}}$  - сумарна розцінка за одиницю роботи, грн;

$K_{\text{пр}}$  - коефіцієнт преміювання, ( $K_{\text{пр}} = 1,5$ );

$D_{\text{шпр}}$  - додаткова доплата за шкідливість, грн;

$K_{\text{сс}}$  - коефіцієнт соціального внеску, ( $K_{\text{сс}} = 1,3$ );

$K_{\text{д}}$  - коефіцієнт додаткової заробітної плати, ( $K_{\text{д}} = 1,2$ ).

Тарифна ставка  $T_{\text{ст}}$  зварника - 100 грн/год.

Сумарна розцінка за ремонт рами визначається за формулою:

$$P_{\text{в}} = \frac{T_{\text{ст}} \cdot T_{\text{шт-к}}}{60} \quad (5.16)$$

де  $T_{\text{ст}}$  - тарифна ставка, грн/год;

$T_{\text{шт-к}}$  - штучно-калькуляційний час виконання робіт, хв.

$$P_{\text{кр}} = \frac{100 \cdot 15,68}{60} = 26,13 \text{ грн}$$

$$P_{\text{пр}} = \frac{100 \cdot 15,68}{60} = 26,13 \text{ грн}$$

$$P_{\text{імп}} = \frac{100 \cdot 14,58}{60} = 24,3 \text{ грн}$$

$$P_{\text{стр}} = \frac{100 \cdot 12,96}{60} = 21,6 \text{ грн}$$

Доплата за шкідливі умови праці:

$$D_{\text{шпр}} = \frac{T_{\text{ст}} \cdot T_{\text{шпр}}}{100 \cdot 60} \quad (5.17)$$

де  $T_{\text{шпр}}$  - час роботи у шкідливих умовах, хв.

$$T_{\text{шпр}} = T_{\text{шт-к}} \cdot (0,1 \dots 0,31), \text{ хв.} \quad (5.18)$$

$$D_{\text{кр}} = \frac{100 \cdot 15,68}{100 \cdot 60} = 0,26 \text{ грн}$$

$$D_{\text{пр}} = \frac{100 \cdot 15,68}{100 \cdot 60} = 0,26 \text{ грн}$$

$$D_{\text{імп}} = \frac{100 \cdot 14,58}{100 \cdot 60} = 0,24 \text{ грн}$$

$$D_{\text{стр}} = \frac{100 \cdot 12,96}{100 \cdot 60} = 0,21 \text{ грн}$$

Тоді

$$Z_{\text{пркр}} = (26,13 \cdot 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,3 + 1,33) \cdot 1 = 62,47 \text{ грн.}$$

$$Z_{\text{прпр}} = (26,13 \cdot 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,3 + 1,33) \cdot 1 = 62,47 \text{ грн}$$

$$Z_{\text{прімп}} = (24,3 \cdot 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,3 + 1,33) \cdot 1 = 58,19 \text{ грн}$$

$$Z_{\text{прстр}} = (21,6 \cdot 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,3 + 1,33) \cdot 1 = 51,87 \text{ грн}$$

Отже, технологічна собівартість зварювального шва становитиме:

$$C_{\text{ткр}} = 143,89 + 10,38 + 62,47 = 216,74 \text{ грн} \quad (5.19)$$

$$C_{\text{тпр}} = 144,4 + 10,38 + 62,47 = 216,74 \text{ грн}$$

$$C_{\text{тімп}} = 142,92 + 8,90 + 58,19 = 210,01 \text{ грн}$$

$$C_{\text{тстр}} = 142,33 + 7,55 + 51,87 = 201,75 \text{ грн}$$

Підбиваючи підсумки даних розрахунків ми можемо бачити що, в нас вийшла собівартість 1 метра шва від 216,74 до 201,75 тому, зварювальний режим струменевим перенесення є найбільш ефективним для зварювання даних деталей.



## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз зварювального апарату Fronius TPS 320i показав що його функціональними можливостями можна забезпечити виконання механізованого зварювання в середовищі захисних газів на чотирьох режиму: короткої дуги, проміжної дуги струменевої, імпульсної.

2. Процес механізованого зварювання оцінюють як технологічними так і техніко-економічними показниками. Основними параметрами які впливають на його продуктивність виражена швидкістю зварювання а також якісні показники зварних з'єднань.

3. Виконані теоретичні розрахунки параметрів процесу механізованого зварювання показали, що даний зварювальний апарат дозволяє виконувати таврові зварні з'єднання деталей товщиною 10мм за один прохід. Діапазон регулювання зварювального струму дозволяє виконувати такі операції на всіх чотирьох режимах.

4. За результатами досліджень встановлено що при зварюванні на короткому замиканні у нас утворюється невеликі бризки і малий провар, даний режим більше підходить для зварювання тонких матеріалів. Використанні суміші газу дещо зменшує утворення бризок на поверхні деталі. В перехідному режимі в нас збільшується провар за рахунок збільшення сили струму але тим часом і збільшується кількість бризок і вони стають більше і їх важче відчистити тому даний режим стараються проскакувати або залишатися на короткій дузі або зразу переходити на струменеве перенесення металу або пульс режим. При струменевому режимі зварювання забезпечується найкращий провар з усіх режимів відсутність бризок, швидкість зварювання збільшується в 1,7 раз але потрібно для цього режиму використовувати лише суміші газів оскільки якщо ми тих самих параметрах зварювального апарату будемо зварювати в стовідсотковому стовідсотково вуглекислоті ми будемо залишатися в перехідному режимі. У імпульсному режимі або в пульс режимів ми за рахунок даного режиму ми досягаємо близького до струменевого переносу металу навіть на менших силах струму що дозволяє нам зварювати

менш тонкі або тонкі метали без бризок і з меншою тепловкладенням в зварювальний шов. Даний режим має більшу швидкість зварювання ніж зварювання на режимі короткого замикання і в перехідному режимі тому якщо на підприємствах які зварюють не дуже товсті метали бажане або потрібно зменшити деформації металу використання даного режиму зварювання забезпечить швидкість зварювання більшу якість проплавлення і якість самого шва зменшить кількість бризок що дозволить не обробляти шов після зварювання.

5. Аналіз небезпечних факторів які присутні під час зварювання та моделювання процесу виникненням небезпечної ситуації показали, що при вказаних умовах безпеки праці ймовірність виникнення травми 20%.

6. Результати техніко економічних розрахунків показали, що собівартість зварювання одного метру шва є від 201,75 до 216,74. Найбільш ефективним за нашими розрахунками є режим струменевого перенесення металу.

## БІБЛОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Биковський О.Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій: підручник. Київ: Основа, 2021. 400 с.
2. Городецький І. В, О. Тимочко. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях: методичні рекомендації до виконання розділу у роботах ОКР "Магістр" студентами факультету механіки та енергетики. Львів: Львівський НАУ, 2011. 16 с.
3. Гуменюк І.В. Іваськів О.В., Гуменюк О.В. Технологія електродугового зварювання: Підручник. Київ: Грамота, 2006. 512 с.
4. Драган С.В., Лабарткава А.В. Практикум зі зварювання: Навчальний посібник. Миколаїв: НУК, 2008. 68 с.
5. Драган С.В., Лабарткава А.В. Практикум зі зварювання: Навчальний посібник. Миколаїв: НУК, 2008. 68 с.
6. ДСТУ 2456-94. Зварювання дугове і електрошлакове. Вимоги безпеки. [Чинний від 1995-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 1994. 48 с.
7. ДСТУ ISO 14175:2004 Матеріали зварювальні. Захисні гази для дугового зварювання та різання (ISO 14175:1997, IDT): [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=50209](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=50209)
8. ДСТУ EN ISO 14171:2015 Зварювальні матеріали. Дроти електродні суцільні й порошкові та комбінації дрiт електродний/флюс для дугового зварювання під флюсом нелегованих та дрібнозернистих сталей. Класифікація (EN ISO 14171:2010, IDT; ISO 14171:2010, IDT): [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=82838](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=82838)
9. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві: Навчальний посібник. Київ: Арістей, 2005. 268 с.
10. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві Навчальний посібник. Київ: Основа, 2010. 240 с.
11. Неруйнівний контроль і технічна діагностика. Т. 5/ Під ред.. З.Т.

Назарчука. – Львів: ФМІ ім. Г.В. Карпенка, 2001. -1134 с.

12. Швець О.П. Вивчення обладнання для механізованого зварювання в середовищі захисних газів (MIG/MAG): методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи з дисципліни «Технології та обладнання зварювання металів і пластмас» студентами ОС «Бакалавр» спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування», 208 «Агроінженерія», 274 «Автомобільний транспорт», 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Львів: ЛНАУ, 2018р. 19 с.

13. Швець О.П. Зварювання сталей в середовищі вуглекислого газу: методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи з дисципліни «Технології та обладнання зварювання металів і пластмас» студентами ОС «Бакалавр» спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування», 208 «Агроінженерія», 274 «Автомобільний транспорт», 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Львів: ЛНАУ, 2020 р. 10 с.

14. Технології та обладнання зварювання металів і пластмас: Методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи на тему «Зварювання сталей в середовищі вуглекислого газу» студентами ОС «Бакалавр» спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування», 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», 208 «Агроінженерія», 274 «Автомобільний транспорт» / [уклад.: О. П. Швець, С.А. Березовецький];- Львів: ЛНАУ, 2020. - 10 с.

15. Охорона праці (гігієна праці та виробнича санітарія): навчальний посібник / Пістун І.П., Березовецький А.П., Тимочко В.О., Городецький І.М.; за ред. І.П.Пістуна. Львів: Тріада плюс, 2017. Ч.І. 620 с.

16. <https://www.fronius.com/uk-ua/ukraine/zvaryvalni-tekhnohiiyi>

17. <https://zvarka.info/vidi-i-osoblivosti-zvarnix-shviv/>