

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

Другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

Розроблення моделі впливу параметрів електродів на якість зварного шва в
автоматизованому виробництві
(тема)

Виконав:

Здобувач 2 року навчання, групи КІТПВМ-23-3

Твердохліб Артем Олександрович

(прізвище, ініціали)

Спеціальності 174 Автоматизація, комп'ютерно
-інтегровані технології та робототехніка

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Комп'ютерно-інтегровані
технологічні процеси і виробництва

(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Андрусевич А.О.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту
Зав. кафедри КІТАР

Невлюдов І. Ш.

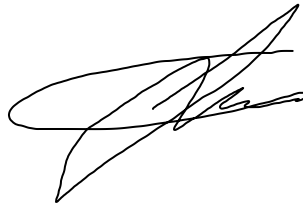
(підпис)

(прізвище, ініціали)

2025 р.

Я, як здобувач вищої освіти ХНУРЕ Твердохліб Артем Олександрович, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надав і не одержав недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Дата
20.01.2025



ПІБ
Твердохліб А.О.

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет _____ АКТ _____
Кафедра _____ КІТАР _____
Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____
Спеціальність 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка _____
Тип програм _____ освітньо-професійна _____
Освітня програма Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КІТАР _____
(підпис)

«30» серпня 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві _____ Твердохлібу Артему Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення моделі впливу параметрів електродів на якість
зварного шва в автоматизованому виробництві.

Затверджена наказом по університету від 22.11.2024. № 1231 Ст.

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії 20.01.2025

3. Вихідні дані до роботи: _____

3.1 Основні види зварювання; _____

3.2 ММА – зварювання; _____

3.3 Розробка плану експерименту; _____

3.4 Проведення досліджень експерименту. _____

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі:

4.1 Вступ; _____

4.2 Аналіз предметної області; _____

4.3 Розробка плану експерименту; _____

4.4 Проведення експериментальних досліджень; _____

4.5 Охорона праці; _____

4.6 Висновки. _____

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів)

Демонстраційний матеріал у вигляді презентації формату PowerPoint (*.ppt) 15 с. формату А4

6. Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання	01.09.2024	виконано
2	Збір матеріалів для дослідження	28.09.2024	виконано
3	Аналіз предметної області	03.10.2024	виконано
4	Розробка плану експерименту	11.10.2024	виконано
5	Проведення експериментальної частини	29.11.2024	виконано
6	Розробка розділу Охорона праці	06.12.2024	виконано
7	Оформлення кваліфікаційної роботи	15.12.2024	виконано

Дата видачі завдання 02.09.2024

Здобувач _____ Твердохліб А.О.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____ проф. Андрусевич А.О.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 74 с., 2 табл., 24 рис., 4 дод., 29 джерел.

ММА ЗВАРЮВАННЯ, ПАРАМЕТРИ ЗВАРЮВАННЯ, ВИДИ ЕЛЕКТРОДІВ, ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ НА МІЦНІСТЬ ЗВАРНОГО ШВА.

Мета роботи – дослідження впливу параметрів електродів на якість зварного шва та розроблення математичної моделі для оптимізації процесу зварювання в автоматизованому виробництві.

Об'єкт дослідження – процеси зварювання та міцність зварного з'єднання.

Предмет дослідження – технологія створення зварного шва при різних параметрах електродів.

У процесі виконання кваліфікаційної роботи було проведено аналіз різних видів зварювання, зокрема ММА, лазерне, TIG та MIG. Для проведення досліджень був використаний макет розривної машини з метою вивчення впливу параметрів електродів на міцність зварного шва за технологією ММА.

У ході дослідження було вивчено вплив таких чинників, як зварювальний струм, діаметр заготовки, діаметр електрода та тип сталі. Проведені вимірювання дозволили визначити, як параметри зварювання впливають на міцність зварного шва.

Отримані результати можуть слугувати основою для впровадження та оптимізації автоматизованого процесу зварювання.

ABSTRACT

Explanatory note: 74 p., 2 tabl., 24 pic., 4 applications, 29 sources.

**MMA WELDING, WELDING PARAMETERS, VIDI ELECTRODIV,
CONDUCTED INVESTIGATION ON THE INTEGRATED WELD SEAM.**

The purpose of the work is to develop a model of the effect of electrode parameters on the quality of the weld.

The object of research is welding processes and the strength of the welded joint.

The subject of research is the technology of creating a weld seam with different electrode parameters.

In the course of the qualification work, an analysis of various types of welding was carried out, including MMA, laser, TIG and MIG. To conduct the research, a mock-up of a tearing machine was used to study the effect of electrode parameters on the strength of a weld using the MMA technology.

In the course of the study, the influence of such factors as welding current, diameter of the workpiece, diameter of the electrode and type of steel was studied. The measurements made it possible to determine how the welding parameters affect the strength of the weld.

The obtained results can serve as a basis for the implementation and optimization of the automated welding process.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	8
Вступ	9
1 Аналіз предметної області	12
1.1 Основні види зварювання	12
1.1.1 Контактне зварювання	12
1.1.2 Аргонно дугове зварювання	15
1.1.3 MIG-MAG зварювання	16
1.1.4 Лазерне зварювання	18
1.1.5 Плазмове зварювання	19
1.2 Переваги та недоліки MMA зварювання	20
1.3 Різновид електродів та їх застосування	23
1.4 Параметри зварювання	26
1.5 Висновки до першого розділу	28
2 Розробка плану експерименту	30
2.1 План проведення досліджень	30
2.2 Висновки до другого розділу	35
3 Проведення досліджень	36
3.1 Розрахунок міцності заготовки на розрив	36
3.2 Побудова регресійно-кореляційної моделі	37
3.3 Висновки до третього розділу	41
4 Охорона праці	42
Висновки	51
Перелік джерел посилання	53
Додаток А Результати досліджень	58
Додаток Б Абробація наукових результатів досліджень	60
Додаток В Демонстраційний матеріал	73

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ЗІЗ – засоби індивідуального захисту;

НДР – науково-дослідна робота;

ТЗ – технічне завдання;

MIG-MAG – напівавтоматичне зварювання;

MMA – зварювання плавкими металевими електродами;

TIG – аргонно-дугове зварювання.

ВСТУП

Зварювання – це процес отримання нероз’ємного з’єднання різних матеріалів використовуючи високу температуру, шляхом нагрівання зварних об’єктів до пластичного, або розплавленого стану. Також, слід врахувати, що зварювання може бути виконано з використанням, або без використання механічного стикування зварювальних об’єктів, для більш комфортного зчеплення [1].

Зварювання – один із основних технологічних процесів у різних галузях виробництва. Воно використовується як для ремонту, а також безпосереднього виготовлення виробів як у будівництві так і у машинобудуванні. Саме в будівництві автомобілів, кораблів, літаків, мостів, реакторів та інших конструкцій неможливе існування та виробництво без зварювання. Зварювання дозволило розширити звичні на той час уявлення у різних сферах будівництва та досягти таких масштабних успіхів у звичному для нас часі. Створення принципово нових конструкцій та технологій виробництва було досягнуто завдяки зварюванню [2].

Одним із основних видів технологічного процесу отримання нероз’ємного з’єднання є ручне (електро) дугове зварювання, при якому довжина дуги, подача електрода зі швидкістю його розплавлення та переміщення уздовж зварюваних зварних деталей відбувається вручну. Зварювання можна виконувати плавким металевим електродом, неплавким вугільним, графітовим, або вольфрамовим електродом [3]. При зварюванні неплавким електродом у зону дуги подають присадний метал. ММА зварювання – це найпоширеніший вид електрозварювання, яке використовується для зварювання м’якої та легованої сталей, таких як чавун, нержавіюча сталь, а також кольорові метали. Електрод має вигляд стержня діаметром від 1,5 мм до 10 мм, який кріпиться в ручному електродотримачі.

Дана робота передбачає розгляд різних видів зварювання, буде виконано

детальний аналіз їх особливостей, переваг та недоліків. В експериментальній частині виконані розрахунки залежності зварного шва від параметрів електродів, будуть розглянуті такі параметри як зварний струм, діаметр заготовки, діаметр електрода, матеріал сталі та різновид електродів.

Мета роботи – дослідження впливу параметрів електродів на якість зварного шва та розроблення математичної моделі для оптимізації процесу зварювання в автоматизованому виробництві.

Об'єкт дослідження – процес зварювання та дослідження міцності зварних з'єднань в автоматизованому виробництві.

Предмет дослідження – технологія створення зварного шва при різних параметрах електродів в автоматизованому виробництві.

Для досягнення поставленої мети будуть вирішені такі завдання:

- аналіз методів для зварювання металів;
- розглядання характеристик та параметрів електродів;
- розробка плану експерименту
- вибір параметрів електродів, для дослідження зварного шва;
- побудова регресійно-кореляційної моделі впливу параметрів електродів на міцність зварного шва;
- оформлення пояснювальної записки згідно з рекомендаціями та вимогами ДСТУ 3008:2015.

Пояснювальну записку виконано згідно з [5] – [6]. За результатами проведених досліджень опублікована стаття в студентському збірнику «Автоматизація та приладобудування» [7].

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

Зварювання – це невід’ємна частина технологічного процесу та метод утворення нероз’ємних з’єднань металів, або інших матеріалів при їх нагріванні, використовуючи тепло, високої температури, або пластичну деформацію шляхом міжмолекулярного зв’язку.

В залежності від матеріалу, буде різна реакція на процес зварювання, це залежить від фізичних та механічних властивостей матеріалу. Наприклад, при нагріванні до високих температур структура металу може змінюватися, впливаючи на його міцність, пластичність, або інші показники, що також впливає та може бути використано для виправлення деформацій.

Основною метою зварювання є створення міцного, а головне, безперервне з’єднання, що в кінцевому результаті буде притримано головного, а саме збереження початкової властивості матеріалу, забезпечення достатньої міцності з’єднання а також забезпечення герметичності і стійкості до корозії.

Опираючись на особливість та унікальність різних матеріалів, а також враховуючи умови експлуатації та необхідної міцності з’єднання, назначається відповідний метод зварювання та його обладнання. Окрім сталі що в основному використовується в будівництві, також зварюванню підлягають такі спеціальні матеріали, як молібден, титан, цирконій, їхньою особливою властивістю є висока корозійна стійкість та жаростійкість. Для розширення можливостей сучасних виробничих процесів використовують і інші різномірні метали.

1.1 Основні види зварювання

1.1.1 Контактне зварювання

Контактне зварювання – це один і найпоширеніших методів з’єднання металевих деталей. Процес здійснюється за рахунок одночасного впливу тепла і тиску на металеві поверхні під час з’єднання. Особливістю цього методу є

локалізація тепла в зоні контакту, що знижує витрати енергії та зменшує деформації деталей.

Контактне зварювання (рис 1.1), його також називають як точкове або шовне зварювання, полягає у тому, що дві деталі стискаються одна до одної між електродами, через які пропускається сильний струм (тисячі ампер). Цей струм спричиняє локальний нагрів у місці контакту металів, цей процес призводить до їх плавлення та створення зварного з'єднання.



Рисунок 1.1 – Контактне зварювання

На зображенні вище зображено точкове зварювання. Під час зварювання електроди притискають металеві поверхні, створюючи локальну зону розплаву, яка потім застигає, утворюючи міцний зварний шов.

Можна привести декілька основних видів контактного зварювання:

- точкове зварювання: Найпоширеніший метод зварювання, при якому зварні точки утворюються в окремих місцях, та мають вигляд точок. Цей метод використовується для тонких металів, в основному в автомобілебудуванні.

- шовне зварювання: Цей метод виконується за допомогою роликів електродів, вони постійно переміщуються вздовж з'єднання, та утворюють неперервний шов. Зазвичай використовується для зварювання труб, резервуарів та інших різних конструкцій, що в свою чергу потребують герметичності.

– стикове зварювання: Цей метод використовується для зварювання торців деталей, це можуть бути металеві прутки або труби. Електроди прикладають з обох сторін заготовки, це забезпечить міцне з'єднання. Саме цей вид зварювання, зазвичай, застосовують у будівництві та енергетиці. Зразок апарату для точкового зварювання, зображено на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 – Зразок апарату для точкового зварювання

Контактне зварювання у своїй ніші має безліч переваг. По перше, це економія енергії, тому, що локалізація тепла на площині зварювання забезпечує високу продуктивність, що робить його ідеальним для серійного виробництва. Особливо тонколистих металів. Низька деформація деталей являється ще однією перевагою цього типу зварювання, завдяки локалізації тепла і швидкості процесу деформація мінімальна.

Серед недоліків контактного зварювання є обмеження у товщині матеріалу. Цей метод не підходить для товстих металів через недостатній нагрів на глибині. Слід зауважити, що існують високі вимоги до чистоти поверхонь, оскільки на них не повинно бути ніяких забруднень та оксидів. Це може погіршити якість зварного з'єднання.

1.1.2 Аргонно дугове зварювання (TIG)

Аргонно-дугове зварювання, або TIG (Tungsten Inert Gas), є одним із

найвідоміших методів зварювання, що використовується для з'єднання металевих деталей. Цей процес характеризується використанням неплавкого вольфрамового електрода, що забезпечує високу якість зварного шва, точність і чистоту.

TIG зварювання базується на створенні електричної дуги між вольфрамовим електродом і заготовкою, яка підпорядковується інертному газу, зазвичай аргону. Основна функція аргону, це захист зони зварювання від окислення та забруднення. Це є критично важливим для досягнення високоякісного з'єднання. Під час зварювання, додатковий електрод може бути подано вручну (рис. 1.3).

Процес зварювання проходить наступними етапами:

- зварювальник наближає електрод до деталі, в результаті чого виникає електрична дуга між вольфрамовим електродом і металом. Ця дуга розігріває метал до температури плавлення;

- захисний газ подається через зварювальний пальник, що забезпечує захист зварювальної ванни від впливу зовнішнього середовища, зокрема від окислення. Цей газ створює атмосферу, що сприяє якісному з'єднанню металів, запобігаючи утворенню дефектів у зварному шві, таких як тріщини чи пори. Правильний вибір та подача захисного газу є ключовими для досягнення оптимальних результатів під час зварювання;

- за необхідності можна додавати присадний матеріал для утворення зварного шва. У деяких випадках зварювання виконується без використання присадного матеріалу (автогенне зварювання).



Рисунок 1.3 – TIG зварювання

Перевагами газового зварювання:

- можливість зварювання різних металів і сплавів, а також виконання пайки;
- легке переносне обладнання, що підходить для роботи в польових умовах;
- низькі витрати на газ (ацетилен, кисень) та обладнання в порівнянні з електричними методами;
- простота конструкції та легкість в ремонті;
- легке регулювання полум'я дозволяє уникати перегріву металу.

Недоліки газового зварювання:

- процес може бути повільнішим у порівнянні з електричними методами, такими як MIG або TIG;
- не завжди підходить для зварювання товстих металів;
- якщо не дотримуватись належних заходів, може статися окислення зварювальної ванни;
- використання захисних газів може збільшувати загальні витрати;
- вимагає досвіду та навичок для досягнення якісного зварного шва, що може бути складним для новачків.

1.1.3 MIG-MAG зварювання

MIG/MAG (Metal Inert Gas / Metal Active Gas) – це процес зварювання, що виконується плавким електродом у середовищі захисного газу. MIG/MAG зварювання є популярним завдяки високій швидкості, універсальності та легкості освоєння. Цей метод широко використовується у різних промисловостях, зокрема у виготовленні конструкцій з тонколистових металів, виробництві автомобілів та в будівництві.

Процес MIG/MAG зварювання базується на використанні плавкого електрода, який подається з механізованого пристрою безперервно в зону

зварювання. Захисний газ подається одночасно з електродом для захисту зварювальної ванни від атмосферних впливів, запобігаючи окисленню (рис. 1.4).

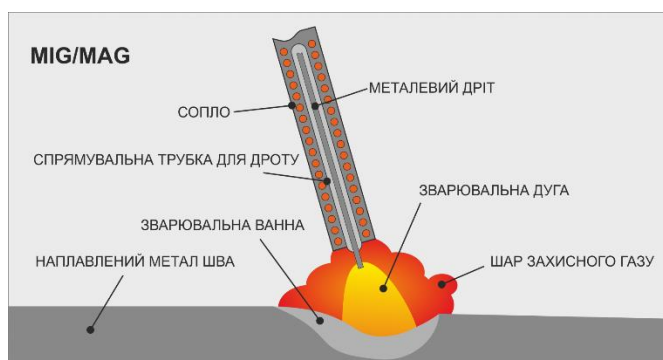


Рисунок 1.4 – MIG-MAG зварювання

MIG/MAG зварювання має широке застосування у виробництві і ремонті металоконструкцій, автомобільній промисловості, судно-будівництві і безпосередньо в будівництві. Цей метод використовується для тонколистих та товстих металів. Має застосування у виготовленні труб, конструкцій з профільних металів а також великогабаритних виробів.

Цей метод зварювання дає змогу швидко з'єднувати металеві поверхні, та дозволяє забезпечити міцний і чистий шов завдяки захисному газу, це запобігає окисленню. Універсальність процесу дозволяє виконувати роботу з різними металами і сплавами. Легко адаптується для автоматизації, що підвищує продуктивність. Завдяки якості зварного шва, відсутня потреба в додатковій обробці. Цей метод важко застосовувати на відкритому повітрі, де є ризик впливу повітря, тому що вимагає стабільного захисного середовища. Обладнання MIG/MAG зварювання дороге і потребує у стабільному технічному обслуговуванні. Воно чутливе до чистоти поверхні металів, тому потрібно ретельно підготувати перед зварюванням.

1.1.4 Лазерне зварювання

Лазерне зварювання використовує лазерні імпульси високої енергії для локального нагрівання матеріалу на невеликій ділянці. Енергія лазерного

Завдяки своїм унікальним перевагам він успішно використовується для точного зварювання мікро- та дрібних деталей. Поява високопотужних лазерів CO₂ та високої потужності YAG-лазерів відкрила нову область лазерного зварювання. Зварювання глибоким проникненням на основі ефекту замкової щілини широко використовується в машинобудуванні, автомобілі, сталелі та інших галузях промисловості.

1.1.5 Плазмове зварювання

Плазмове зварювання – це процес зварювання відомий в застосуванні в середовищі захисного інертного газу, це пряме продовження методу зварювання TIG. Дуга горить між неплавким електродом і матеріалом. Плазмова дуга, яка використовується як джерело тепла, створюється за допомогою великого запасу енергії, вона робить захисний газ електропровідним. Дуга звужується і тим самим досягає більшої щільності енергії, а ніж при зварюванні методом TIG. Плазмове зварювання підходить до всіх електропровідних матеріалів (рис. 1.6).

При цьому типі зварюванні плазмова дуга звужується за допомогою мідної насадки з водяним охолодженням, це дозволяє застосувати надзвичайно високу щільність енергії на відносно не великій площині. Захисний газ зазвичай використовується аргон або аргоно-гелієва суміш, яка подається окремо і захищає дугу та зварювальну ванну від впливу повітря. Швидкий процес зварювання забезпечує висока стійкість плазмової дуги з незначною деформацією та низькою напругою.



Рисунок 1.6 – Плазмове зварювання

Плазмове зварювання можливе на всіх електропровідних матеріалах, таких як конструкційна сталь, нержавіюча сталь, алюміній та мідь. Зазвичай застосовується у будівництві трубопроводів та транспортних засобів, цистерн та інших ємкісних конструкцій.

Завдяки стійкій плазмовій дузі навіть при низьких рівнях струму, вона також підходить для мікроплазмового зварювання дуже тонких матеріалів розміром до 0,1 мм. Найкращим способом зварювання пластин великої товщини є плазмове зварювання з проплавленням у формі замкового отвору, або "метод замкової щілини".

1.2 Переваги та недоліки ММА зварювання

Ручне дугове зварювання покритим електродом (ММА) – один із найуніверсальніших і широко застосовуваних методів зварювання. Це досить простий процес, що дозволяє створювати міцні з'єднання як у приміщенні, так і на відкритому повітрі, зокрема у важкодоступних місцях або в польових умовах (рис. 1.7).



Рисунок 1.7 – ММА зварювання

ММА-зварювання відбувається за допомогою електрода, покритого спеціальним захисним шаром. Коли електрод підключається до джерела

живлення, між ним і основним матеріалом утворюється електрична дуга, яка розігріває зону зварювання до температури плавлення. У цей момент електрод плавиться разом із покриттям, яке перетворюється на захисний газовий шар. Цей шар захищає розплавлений метал від окислення, утворення шлаку і забезпечує високу якість зварного шва. Для забезпечення безперебійної роботи пристрій знижує вхідну напругу від напруги мережі (від 220 В до 380 В) до напруги 60В до 75 В.

Правильний вибір полярності впливає на якість і глибину провару. Полярність визначає напрямок руху електричного струму та те, яка частина зварювального кола отримає більше тепла.

На практиці зворотна полярність більш поширена для ММА-зварювання, оскільки забезпечує краще проплавлення металу і міцніший шов. Пряму полярність зазвичай використовують для особливих матеріалів або специфічних умов.

При цьому типі зварюванні плазмова дуга звужується за допомогою мідної насадки з водяним охолодженням, це дозволяє застосувати надзвичайно високу щільність енергії на відносно не великій площині. Захисний газ зазвичай використовується аргон або аргоно-гелієва суміш, яка подається окремо і захищає дугу та зварювальну ванну від впливу повітря. Швидкий процес зварювання забезпечує висока стійкість плазмової дуги з незначною деформацією та низькою напругою.

Вибір електродів для ММА зварювання. Електроди для цього типу зварювання мають різні покриття, яке відповідає за тип захисту шва та стабільність дуги. Основні типи електродів розподіляються на:

- основні електроди: використовуються для конструкцій, що піддаються високим навантаженням. Підходять для роботи з товстими матеріалами.
- рутилові електроди: універсальні зручні у використанні, дають гладкий шов і легке видалення зварних відходів.

– целюлозні електроди: ідеальні для вертикальних зварювальних швів, використовуються в будівництві та нафтовій промисловості.

Кожен з типів електродів має свої особливості і властивості, які варто враховувати при виборі. Електроди зі шкідливим покриттям, наприклад, мають високий рівень викидів шкідливих речовин, що може впливати на здоров'я зварювальника. Електроди з низьким розрідженням, з іншого боку, дозволяють отримати більш якісне з'єднання.

Підходячи до вибору електрода для роботи з конкретним матеріалом, важливо врахувати його хімічний склад, товщину та твердість. Наприклад, для зварювання сталі з високим вмістом вуглецю можуть підійти електроди з особливою стійкістю до утворення тріщини. Не мало важливим, слід враховувати температурні умови роботи, тому що деякі електроди можуть втрачати ефективність при високих температурах (рис. 1.8).

Кожен тип електрода має свої особливості та принципи використання. Деякі електроди можуть потребувати певного нахилу або швидкості руху, щоб запобігти виникненню дефектів. Важливо докладно вивчити характеристики вибраного електрода та дотримуватися рекомендацій виробника для досягнення найкращих результатів.



Рисунок 1.8 – Різновид електродів для ММА зварювання

При використанні різних типів електродів також слід враховувати їхню специфіку щодо взаємодії з матеріалом, який ви зварюєте. Наприклад, деякі електроди можуть бути більш підходящими для зварювання тонкостінних

металів, тоді як інші можуть надавати кращий результат при роботі з товстими деталями. Важливо ретельно підібрати електрод відповідно до конкретного завдання, щоб забезпечити якісний та міцний зварний шов.

1.3 Різновид електродів та їх застосування

Електроди є провідниками, які використовуються для передачі струму у різних процесах. Вони можуть бути виготовлені з різних матеріалів, включаючи метали, неметали та полуметали. Кожен вид електрода має свої особливості та властивості, які визначають його застосування.

Принцип роботи електродів полягає в тому, що вони забезпечують електричний контакт між джерелом струму та робочим матеріалом, що дозволяє передавати електричний струм через них. На рисунку 1.9 зображено структуру електрода для дугового зварювання.

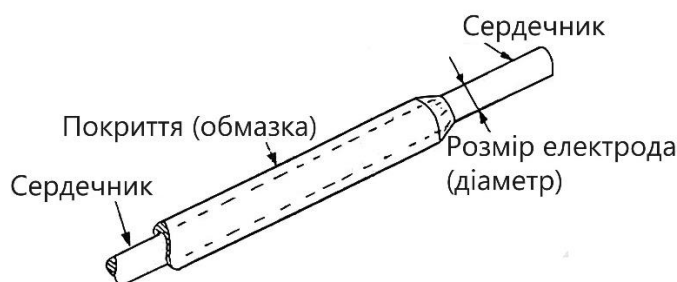


Рисунок 1.9 – Структура електрода для дугового зварювання

У процесі зварювання, електроди використовуються для створення електричної дуги, яка генерує тепло. Це тепло розплавляє робочий матеріал, що дозволяє з'єднати дві або більше деталі разом. Різні види електродів мають різні властивості, які впливають на якість та міцність зварного з'єднання.

Наприклад, електроди з високим вмістом вуглецю використовуються для зварювання сталі, оскільки вуглець додає міцність та твердість до з'єднання. З іншого боку, електроди з низьким вмістом вуглецю підходять для зварювання нержавіючої сталі, оскільки вони допомагають уникнути появи корозії.

Існує велика різноманітність видів електродів, які можуть бути використані у різних процесах. Основною категорією є розподіл електродів на металеві, неметалеві та полуметалеві.

Металеві електроди виготовляються з різних металів, таких як залізо, сталь, мідь та алюміній. Вони використовуються в різних галузях, включаючи будівництво, машинобудування та автомобільну промисловість. Металеві електроди відрізняються високою провідністю та витривалістю.

Неметалеві електроди виготовляються з матеріалів, таких як вуглець, графіт та кераміка. Вони знаходять своє застосування у процесах зварювання, електролізу та електрохімії. Неметалеві електроди мають високу стійкість до термічних та хімічних впливів.

Полуметалеві електроди представляють собою комбінацію металевих та неметалевих компонентів. Вони широко використовуються у підземній геологічній роботі та в хімічних процесах. Полуметалеві електроди поєднують в собі переваги металевих та неметалевих електродів. На рисунку 1.10 наведено схему умовних позначень.



Рисунок 1.10 – Схема умовних позначень

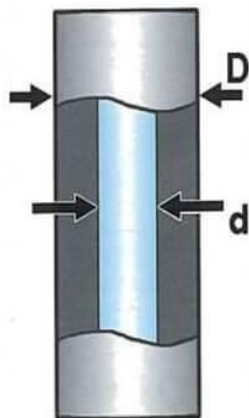
Українські металеві електроди відомі своєю високою якістю та надійністю. Наприклад, металеві електроди, виготовлені в Дніпрі, використовуються в різних галузях, включаючи суднобудування та нафтову промисловість. Вони

дозволяють здійснювати якісне зварювання та забезпечують довговічність конструкцій.

Неметалеві електроди також мають важливе значення в українській промисловості. Графітові електроди, вироблені в Харкові, використовуються у виробництві сталі та алюмінію. Вони мають високу стійкість до високих температур та хімічних реакцій, що дозволяє їх використовувати в екстремальних умовах.

Залежно від товщини покриття (співвідношення загального діаметру електроду і перерізу стрижня, що вказується в паспорті) (рис. 1.11), вироби підрозділяються на:

- М (тонкі) – $<1,45$;
- С (середні) – $<1,2$;
- Д (товсті) – $1,45-1,8$;
- Г (надтовсті) – $>1,8$.



вид покриття	позначення
тонке $D/d \leq 1.2$	М
середнє $1.2 < D/d \leq 1.45$	С
товсте $1.45 < D/d \leq 1.8$	Д
особливо товсте $D/d > 1.8$	Г

Рисунок 1.11 – Класифікація покритих електродів за товщиною покриття

За призначенням (тобто найбільш відповідні для проведення зварювальних робіт з певним видом сталі) електроди маркуються таким чином:

- Л – легована з опором розриву >600 Мпа;
- У – вуглецева і низьколегована <600 ;
- «У» – високолегована;
- Т – теплостійка легована.

Електроди, що використовуються для нанесення спеціальних шарів на поверхню, маркуються «Н». Для аргонодугового зварювання використовують переважно вольфрамові вироби. Через наявність в міді особливих властивостей конструкції з неї зварюють з використанням спеціальних вугільних або графітових електродів.

Окремим видом пристосувань для зварювання є мідні трубчасті електроди. Їх використовують при необхідності обробити отвори діаметром до 2мм. Від інших своїх «побратимів» вони відрізняються:

- особливо жорсткою конструкцією;
- винятковою точністю перерізу зовнішньої частини виробу;
- відсутністю на поверхні шорсткості;
- наявністю каналу для рідини, яка виводить з оброблюваного отвору продукти ерозії.

1.4 Параметри зварювання

Режимом зварювання називають основні показники, що визначають процес зварки, який встановлюється на основі вихідних даних і повинна виконуються для здобуття зварного з'єднання необхідної якості, розмірів, форми встановлених проектом. До цих показників при ручному дуговому зварюванні (РДЗ) відноситься: марка електроду, його діаметр, сила і рід зварювального струму, полярність при постійному струмі, число шарів в шві.

Для визначення режиму зварки використовують вихідні дані: марку і товщину основного металу, протяжність і форму зварних швів, положення швів в просторі.

Тип зварного з'єднання і його конструктивні елементи вибираються для кожного виду зварювання за відповідним ГОСТом.

На рисунку 1.12 показані основні типи зварних з'єднань. У разі ручного зварювання товстих листів (більше 8 мм) на зварюються крайках роблять скоси.

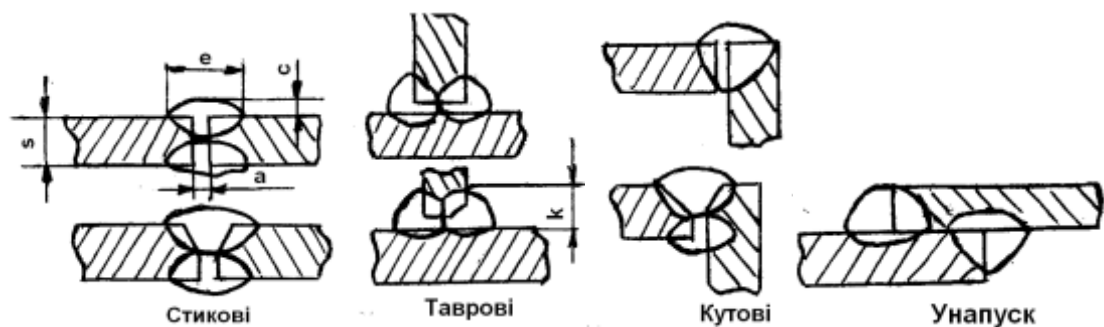


Рисунок 1.12 – Основні типи зварних з'єднань

Сила зварювального струму I , залежить від величини діаметра електрода і визначається за емпіричною формулою:

$I_{св} = k d e$, де k - коефіцієнт, що дорівнює 40 ... 60; d - діаметр електрода, мм.

Величина коефіцієнта залежить від електричного опору електродного стрижня, просторового положення і деяких інших чинників. Залежно від марки металу, що зварюється і його товщини підбирають тип і марку електродів. Діаметр електрода вибирається в залежності від товщини металу і положення зварювання.

Щодо малий зварювальний струм веде до нестійкого горіння дуги, непровари і малої продуктивності. Надмірно великий струм веде до сильного нагрівання електрода при зварюванні, збільшенню електродного матеріалу і погіршення формування шва. На величину коефіцієнта k береться менше, ніж для шлакообразуючих покриттів, наприклад, для електродів з залізним порошком в покритті (АНО - 1, ОЗС - 3) зварювальний струм на 30 - 40% більше, ніж для електродів зі звичайними покриттями.

При зварюванні з вертикальними і горизонтальними швами струм повинен бути зменшений проти прийнятого для зварювання в нижньому положенні приблизно на 5 - 10%, а для стельового на 10 - 15%, з тим, щоб рідкий метал не випливав зі зварювальної ванни.

При РДС напруга на дузі регламентується в широких межах і встановлюється самим зварювальником, на рисунку 1.13 наведено приклад роботи електродугового зварювання.



Рисунок 1.13 – Приклад електродугового зварювання

Додаткові показники режиму зварювання: рід і полярність струму, тип і марка покритого електрода, кут нахилу електрода, температура попереднього нагрівання металу. При зварюванні в стик листів товщиною до 4 мм в нижньому положенні діаметр електрода береться рівним, товщині зварюваної сталі. При зварюванні сталі великої товщини застосовують електроди діаметром 4 - 6 мм за умови забезпечення повної можливості провару металу який з'єднує деталі і правильного формування шва. Застосування електродів більше 6 мм обмежується внаслідок великої маси електрода і електродотримача. Крім того, міцність зварних з'єднань, виконаних електродом великих діаметрів, знижується внаслідок можливого непровару в корені шва і великої столбчатої макроструктуру металу шва.

Зварювання виконується у вертикальному положенні зазвичай електродом діаметром не більше 4 мм, рідше 5 мм; електродом 6 мм можуть застосовуватися тільки зварювальниками високої кваліфікації.

1.5 Висновки до першого розділу

Було розглянуто зварювання як технологічний процес, включаючи його основні типи, а саме:

- контактне зварювання;
- аргонно дугове зварювання (TIG);

- MIG-MAG зварювання;
- лазерне зварювання;
- плазмове зварювання.

Описано переваги та недоліки кожного з цих методів, а також особливості їх застосування.

Особливу увагу було приділено ручному дуговому зварюванню покритим електродом: досліджено правильний вибір полярності, вибір електродів для MMA зварювання, а також специфіку електродів, щодо взаємодії з матеріалом зварювання.

Також розглянуто різновид електродів: для чого вони використовуються, характеристики, переваги та недоліки. Проведено аналіз параметрів зварювання, вони є ключовими для забезпечення якості зварного шва та ефективності процесу. Вибір оптимальних параметрів, таких як сила струму, напруга, швидкість зварювання, тип електрода, захисний газ і тип обладнання, визначає механічні властивості шва, його міцність, пластичність та стійкість до деформацій. Від правильного підбору цих параметрів залежить не тільки якість з'єднання, але й економічність процесу, а також безпека виконання робіт.

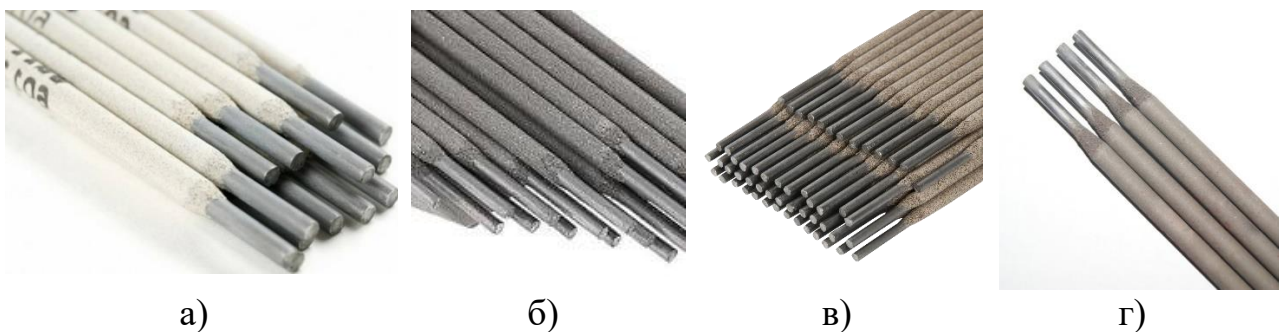
2 РОЗРОБКА ПЛАНУ ЕКСПЕРИМЕНТУ

2.1 План проведення досліджень

Для проведення досліджень впливу параметрів зварювання ММА на міцність зварного з'єднання на розрив, необхідно визначити параметри при яких, будуть виготовлені тестові зразки. Для проведення досліджень буде виготовлено 48 тестових зразка, які будуть виготовлені при наступних параметрах:

- чотири типи електродів (електроди з кислим покриттям «А», електроди з рутиловим покриттям «R», електроди з целюлозним покриттям «С» та електроди з основним покриттям «В»);
- струм зварювання в діапазоні від 65 А до 130 А, з кроком 13 А;
- діаметр заготовки 6 мм та 12 мм;
- діаметр електроду 3 мм;
- матеріал зразка сталь СТ-3.

Типи електродів були обрані за наступним чином (рис. 2.1).



а – електроди з кислим покриттям; б – електроди з рутиловим покриттям;
в – електроди з целюлозним покриттям; г – електроди з основним покриттям;

Рисунок 2.1 – Види електродів для зварювання

Електроди з кислим покриттям (А). Покриття електродів складається з оксидів марганцю і заліза, гематиту, кремнезему. Ці електроди дають рівний зварний шов. У більшості випадків ці електроди не потребують сушіння, якщо

немає білих плям або інших дефектів, що перешкоджають зварюванню. Наявність великої кількості оксидів марганцю і заліза робить такі електроди токсичними для зварника. Зварювання проводиться змінним струмом (АС) або постійним струмом будь-якої полярності (DC), у всіх просторових положеннях.

Електроди з рутиловим покриттям (R). Вони мають універсальне застосування. До складу наплавлення входять рутил, феросиліцій, феромарганець і слюда, що забезпечує дрібнолускату поверхню зварювального шва. Крім того, шлак, що утворюється, легко видаляється. Зазвичай вони не потребують сушіння, якщо тільки на їхній обмазці не з'являється білий наліт або дуга під час зварювання горить нестабільно. Зварювання виконують змінним струмом (АС) або постійним струмом будь-якої полярності (DC). Дозволяють виконувати зварювання у всіх положеннях, крім вертикального зверху вниз. Ідеально підходять для зварювання тонких виробів.

Електроди з целюлозним покриттям (С). Вони особливо зручні для зварювання на відкритому повітрі, оскільки не дуже чутливі до атмосферних впливів. До складу їхньої обмазки входять розкислювачі, деревне борошно і до 30% целюлози. Їх не потрібно сушити перед використанням, оскільки найкращих зварювальних властивостей вони набувають, коли вміст вологи в їхньому покритті становить 3% і більше. Зварювання виконують змінним (АС) або постійним (DC) струмом у всіх положеннях, особливо у вертикальному зверху вниз.

Електроди з основним покриттям (В). Ці електроди характеризуються високою пластичністю шва і стійкістю до холодного і гарячого руйнування. До складу їхньої обмазки входять, зокрема, флюорит, карбонати кальцію і магнію. Перед використанням вони мають бути просушені протягом 1-3 годин, за температури 300-3500 С. Зварювання проводять постійним струмом (DC) зворотної полярності у всіх положеннях, крім вертикального зверху вниз.

Для зварювання електродами діаметром 3 мм потрібен зварювальний апарат, здатний забезпечити стабільне і точне регулювання струму в межах від 120 А до 160 А, в залежності від матеріалу і товщини заготовки. Це може бути як

трансформатор, так і інверторний апарат. Значення струму зварювання в межах від 65 А до 130 А, був обраний від товщини електроду 3 мм.

Для зварювання тестових зразків буде використовуватися зварювальний апарат IGBT Dnipro-M SAB-17DFB (рис. 2.2).



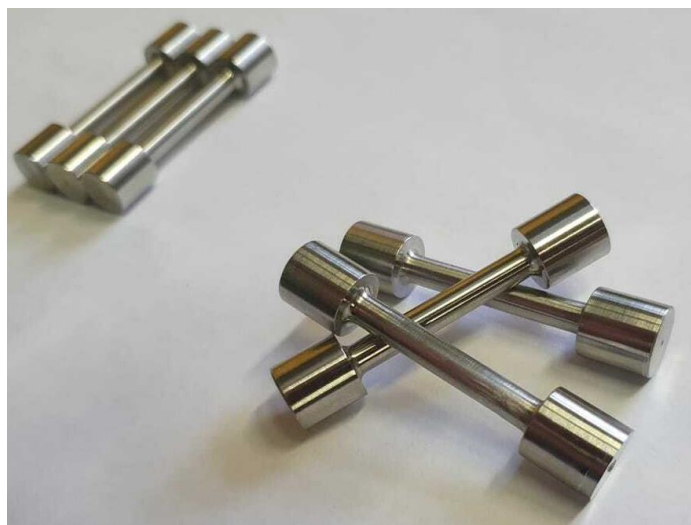
Рисунок 2.2 – Зварювальний апарат IGBT Dnipro-M SAB-17DFB

В таблиці 2.1 наведені технічні характеристики апарату для зварювання.

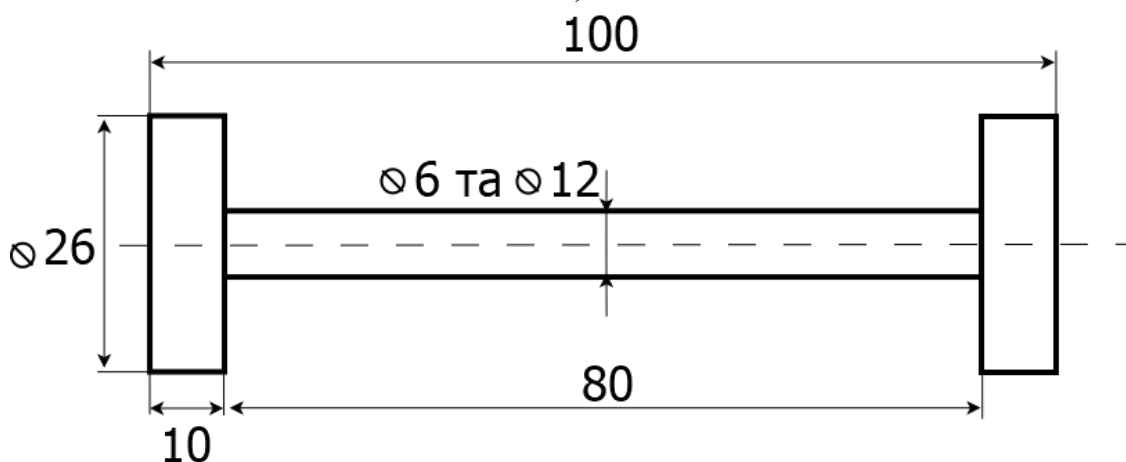
Таблиця 2.1 – Технічні характеристики IGBT Dnipro-M SAB-17DFB

№	Характеристика	Значення
1	Максимальна потужність, Вт	5100
2	Тип живлення	Мережа
3	Частота тока, Гц	50
4	Мінімальний діаметр електрода ММА, мм	1,6
5	Максимальний діаметр електрода ММА, мм	5
6	Габаритні розміри (ДхШхВ), мм	313×187×118
7	КПД, %	90

В якості тестового зразка будуть використовуватися металеві штифти з марки сталі СТ-3. В цілому в дослідженні буде використано 48 зразків, 24 зразка з діаметром 6 мм та 24 зразка з діаметром 12 мм (рис. 2.3).



а)



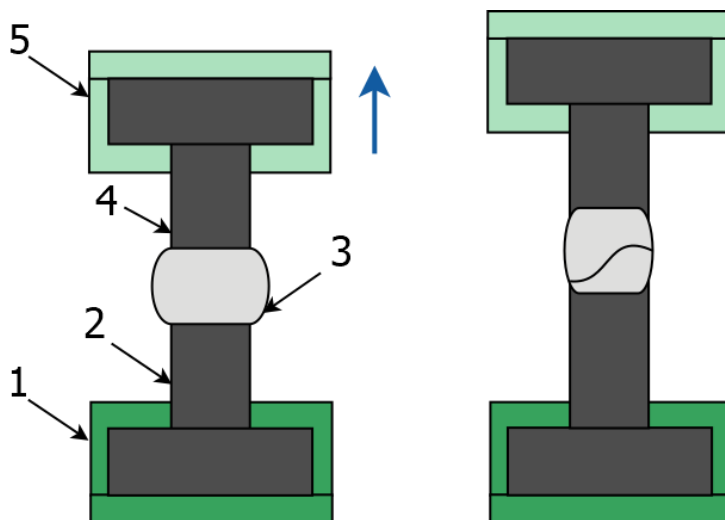
б)

а – зразки; б – креслення тестових зразків.

Рисунок 2.3 – Тестові зразки

Для того щоб перевірити міцність зварного шва при різних електродах та параметрах зварювання, тестові зразки буду розділені навпіл, а поті зварені відповідний електродом при вказаних параметрах зварювання.

Потім тестові штифти будуть поміщені в стенд для розриву матеріалів, ти саме буде змога визначити тиск при яких зварне з'єднання руйнуються (рис. 2.4).



1 – нерухомий фіксатор зразка; 2 – перша частина тестового зразка;
3 – зварний шов; 4 – друга частина тестового зразка; 5 – рухомий фіксатор зразка.

Рисунок 2.4 – Схема розриву зразка на тестовому стенді

Для розриву зварного шва буде використовуватися стенд для розриву зразків фірми UKRINTECH модель UIT STM 010 (рис. 2.5).



а)



б)

а – розривний стенд UIT STM 010; б – розривання тестового зразка;

Рисунок 2.5 – Проведення досліджень

В таблиці 2.2 наведені основні характеристики стенду для дослідження міцності на розрив UIT STM 010.

Таблиця 2.2 – Характеристики стенду UIT STM 010

Параметре	Значення
Максимальне навантаження, кН	10
Точність вимірювання навантаження, %	від 1 до 0,5
Швидкість переміщення траверси, мм/мин	0,05-500
Роздільність переміщення траверси, мм	0,01
Жорсткість силової рами, кН/мм	80
Електроживлення	220В, 50Гц
Споживна потужність, кВт	до 0,5
Простір для випробувань, мм	800×370
Габаритні розміри, мм	775×500×1717
Вага силової рами, кг	250

Результати вимірювань наведені в додатку Б.

2.2 Висновок до другого розділу

У другому розділі було розроблено план експерименту для дослідження впливу параметрів зварювання ММА на міцність зварного з'єднання. Обрано основні параметри дослідження: типи електродів, зварювальний струм, товщина заготовок, діаметр електродів та матеріал сталі. Для виконання експерименту використано зварювальний апарат IGBT Dnipro-M SAB-17DFB і стенд для розривних випробувань UIT STM 010.

Розроблений план став основою для експериментальної частини роботи та подальшого аналізу отриманих результатів.

3 ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Розрахунок міцності заготовки на розрив.

Дослідження на розрив зразка – це експериментальний метод, що використовується для визначення міцності матеріалів при впливі розтягуючого навантаження. Зазвичай це дослідження проводять у спеціалізованих лабораторіях за допомогою випробувальних машин, які можуть контролювати силу та швидкість навантаження.

Для цільних зразків використовується графік меж міцності (рис. 3.1).

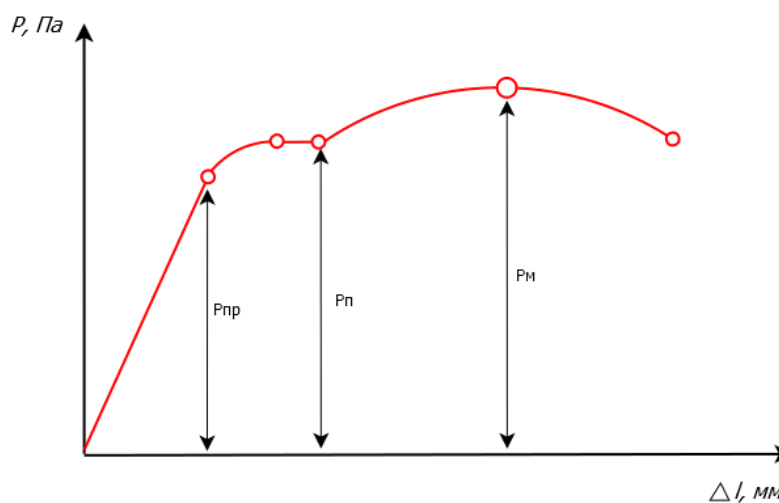


Рисунок 3.1 - Графік міцності матеріалу на розрив

Межа пропорційності – це максимальна напруга, при якій зберігається лінійна залежність між напругою (σ) і деформацією (ϵ) у матеріалі. На цьому етапі матеріал поводить себе пружно і підпорядковується закону Гука:

$$\sigma_{пр} = \frac{F_{пр}}{A} \quad (3.1)$$

де, $\sigma_{пр}$ – межа пропорційності, Па;

A – площа поперечного перерізу зразка, m^2 ;

$F_{пр}$ – сила, що відповідає межі пропорційності, Н.

До цієї межі матеріал повністю повертається у початкову форму після зняття навантаження.

Межа плинності – це напруга, при досягненні якої в матеріалі починаються незворотні пластичні деформації (текучість):

$$\sigma_{п} = \frac{F_{п}}{A} \quad (3.2)$$

де, $\sigma_{п}$ – межа плинності, Па;

A – площа поперечного перерізу зразка, м²;

$F_{п}$ – сила, що відповідає межі плинності, Н.

Матеріал починає деформуватися навіть при незначному збільшенні навантаження, і ці деформації залишаються після зняття сили. Для пластичних матеріалів – це точка на діаграмі, де відбувається перехід від пружного до пластичного стану.

Межа міцності – це максимальна напруга, яку матеріал може витримати перед руйнуванням. Після досягнення цієї точки матеріал більше не може чинити опір навантаженню, і починається його руйнування:

$$\sigma_{м} = \frac{F_{м}}{A} \quad (3.2)$$

де, $\sigma_{м}$ – межа міцності, Па;

A – площа поперечного перерізу зразка, м²;

$F_{м}$ – сила, що відповідає межі міцності, Н.

3.2 Побудова регресійної-кореляційної моделі

На основі отриманих результатів (Додаток А), можна побудувати регресійно-кореляційну модель, що описує вплив параметрів електродів та режимів зварювання для ММА зварювання на міцність зварного шва. Для цього введемо зібрані дані в програму IBM SPSS Statistics для виконання базового

лінійного регресійного аналізу [20].

В моделі будуть включені наступні параметри:

- струм зварювання (Current) в діапазоні від 65 А до 130 А, з кроком 13 А;
- діаметр заготовки (Workpiece diameter) 6 мм та 12 мм;
- тип електродів (Electrode type), з найменуванням «А», «R», «С», «В»;
- тиск на розрив зразка (Pressure), МПа.

Перш за все необхідно виразити ступінь кореляції між фактичними значеннями залежної змінної та передбаченими значеннями, що характеризує відповідність між розрахованими модельними значеннями лінії регресії та експериментальними результатами, а саме коефіцієнт детермінації «R» (рис. 3.2).

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	R Square Change	Change Statistics			Sig. F Change
						F Change	df1	df2	
1	,841 ^a	,707	,687	12,043	,707	35,389	3	44	,000

a. Predictors: (Constant), Workpiece_diameter_mm, Current_A, Electrode_type

Рисунок 3.2 – Перевірка конфіденту детермінації

Коефіцієнт множинної детермінації «R²» показує, що параметри, включені в модель, пояснюють 84,1% варіації результату.

Скоригований коефіцієнт «R²» становить 70,7%, а стандартна помилка оцінки дорівнює 12,04, причому важливо, щоб цей показник був більший за 0,5. Оцінюючи результати по всіх осях, виявлено, що значення «R²» перевищує 0,5.

Наступним кроком є перевірка конфіденту значимості факторів на вихідну величенну. Якщо рівень значимості «Sig.» менший за 0,05, це підтверджує вірність попередніх результатів, як показано на рисунку 3.3.

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	15398,241	3	5132,747	35,389	,000 ^b
	Residual	6381,738	44	145,040		
	Total	21779,979	47			

a. Dependent Variable: Pressure_MPa

b. Predictors: (Constant), Workpiece_diameter_mm, Current_A, Electrode_type

Рисунок 3.3 – Результати розрахунків значимості «ANOVA»

У даному випадку значимість «Sig.» менша за 0,05, що підтверджує правильність попередніх результатів. На базі отриманих результатів можемо оцінювати кореляцію між вихідною величиною та факторами за допомогою кореляції Пірсона (рис. 3.4).

Correlations

		Pressure_MP a	Electrode_typ e	Current_A	Workpiece_di iameter_mm
Pearson Correlation	Pressure_MPa	1,000	-,070	,718	-,431
	Electrode_type	-,070	1,000	,000	,000
	Current_A	,718	,000	1,000	,000
	Workpiece_diameter_m m	-,431	,000	,000	1,000

Рисунок 3.4 – Кореляція Пірсона

Якщо переглянути попередні розрахунки, можна помітити, що вся модель має лінійну залежність. Отже, ці коефіцієнти можна підставити в рівняння лінійної регресії, що має вигляд (формула 3.4).

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n \quad (3.1)$$

де Y – міцність зварного шва; $b_0, b_1, b_2, \dots, b_n$ – коефіцієнти лінійної регресії впливу параметрів на фактор; x_1, x_2, \dots, x_n – параметри впливу на фактор.

Таким чином отримуємо, що рівняння регресії для міцності зварного шва з урахуванням параметрів зварювання буде мати наступний вигляд:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 = 0,001 + (-0,73)x_1 + 0,718x_2 + (-0,431)x_3.$$

де x_1 – зміна типу електроду;

x_2 – зміна струму зварювання;

x_3 – зміна діаметру заготівки.

Якщо, графічно описати залежність типів електродів та струму зварювання можливо спостерігати що при більшому значенні струму отримується більш міцніше з'єднання особливо для зразків з малим діаметром заготівки (рис. 3.5).

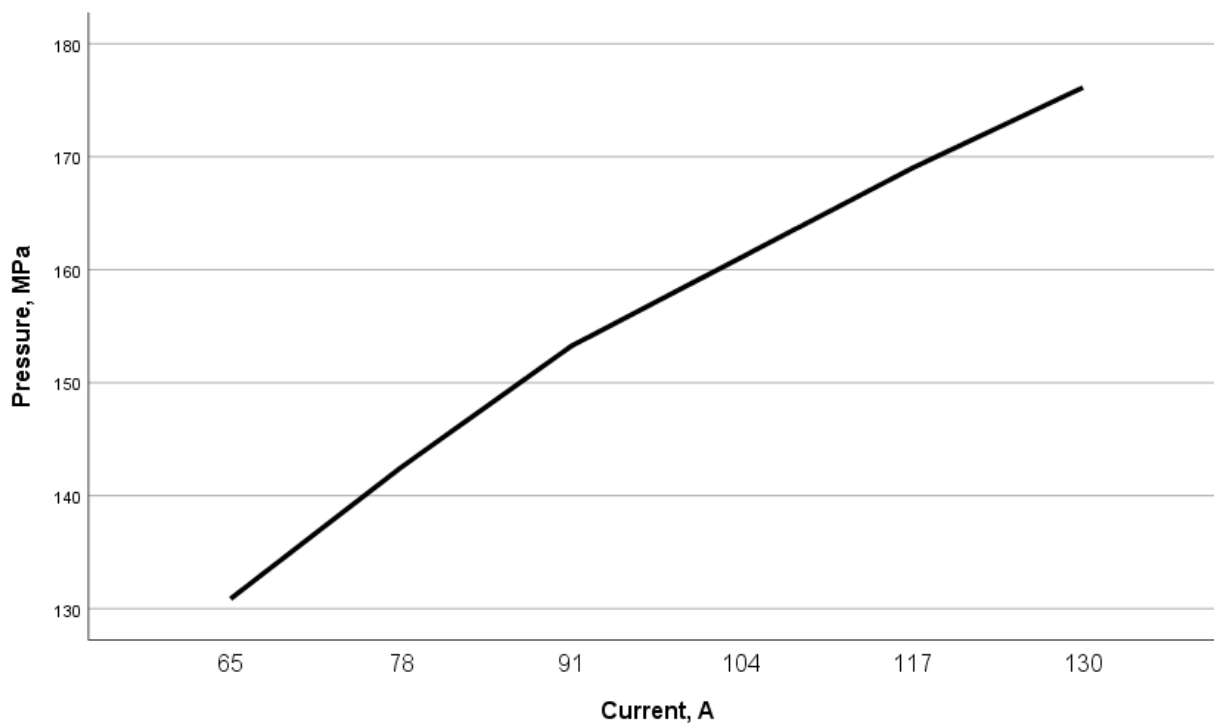


Рисунок 3.5 – Залежність міцності зварного шва від струму зварювання

На рисунку 3.6 наведена залежність міцність на розрив зварного шва від типу електродів.

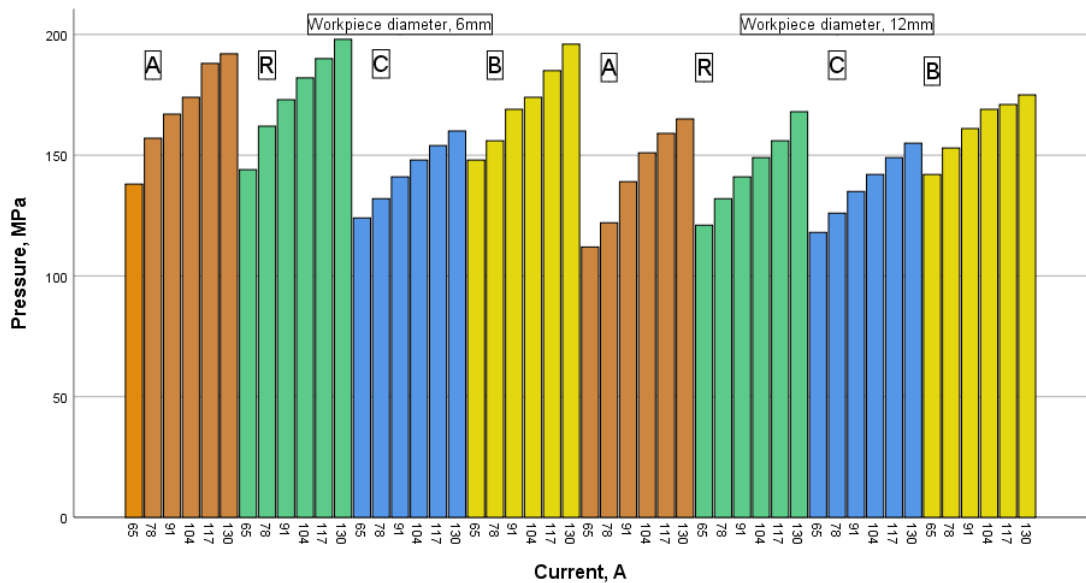


Рисунок 3.6 – Залежність міцності зварного шва від типу електродів

3.3 Висновки до третього розділу

За результатами досліджень третього розділу, було проведено дослідження залежності міцності зварного шва в ММА зварюванні від параметрів зварювання, а саме від:

- струм зварювання в діапазоні від 65 А до 130 А, з кроком 13 А;
- діаметр заготовки 6 мм та 12 мм;
- діаметр електроду 3 мм;
- типи електродів (електроди з кислим покриттям «А», електроди з рутиловим покриттям «R», електроди з целюлозним покриттям «С», електроди з основним покриттям «В»);
- матеріал зразка сталь СТ-3.

За допомогою розривної машини та тестових зразків 48, були отримані дані лінійної залежності міцності зварного шва від параметрів зварювання. За отриманими результатами була побудована регресійна кореляційна модель.

Також можливо зробити наступні спостереження:

- чим більше струм тим більша глибина проварювання заготовки, що збільшує зусилля на розрив зразка;

– чим більший діаметр заготовки та менший струм зварювання, тим більша імовірність того що, центри заготовок не проваряться;

– для зварювання сталі СТ-3, краще всього підходять електроди з рутиловим покриттям «R» та електроди з основним покриттям «B», бо в них при використанні цих електродів тис на розрив заготовки в середньому складає від 148 МПа до 198 МПа.

За результатами кореляцій можна судити що найбільший вплив на міцність зварного шва відіграє струм зварювання зі значенням коефіцієнту 0,718, другий фактор за значимістю тип електродів зі значенням коефіцієнту (-0,7), а діаметр заготовки, є найменш впливовим зі значенням коефіцієнту (-0,431).

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Зварювальні роботи — вид професійної діяльності підвищеної небезпеки. Не дарма до них допускаються лише після проведення попереднього інструктажу. В ході виконання зварювальних робіт мають місце не тільки фізичні, але і хімічні процеси, які несуть у собі реальну загрозу здоров'ю і життю людини у разі недотримання правил техніки безпеки. Наприклад, УФ-випромінювання залишає опіки на руках і пальцях, обпікає очі при прямому впливі.

У процесі зварювання також виділяються випари, в яких містяться мікрочастинки розплаву металів. При потраплянні в організм, вони уражують органи дихання зварювальника і викликають отруєння. Крім того, висока ймовірність отримати сильний опік від бризок розплавленого металу.

Щоб уникнути опіків, отруєнь та інших травм у процесі виконання зварювальних робіт важливо не тільки дотримуватись елементарних правил техніки безпеки, але і розібратися у факторах ризику.

Хоча сучасні технологічні рішення та якісне обладнання істотно мінімізують ризик багатьох загроз, важливо пам'ятати, що ці ризики все ж існують і потребують постійної уваги. Усі зварювальні роботи несуть в собі невід'ємні ризики, які можуть призвести до серйозних наслідків для здоров'я чи навіть життя, якщо їх ігнорувати або виконувати неправильно.

Опіки – одна з найпоширеніших травм у зварювальників. Вони можуть виникати різними способами, але найчастіше є результатом прямого контакту з гарячими матеріалами, такими як метал, нагрітий до високих температур під час зварювання. Крім того, опіки можуть бути результатом теплового випромінювання, яке є природним результатом генерування високої енергії під час дугового зварювання. Тепло може бути настільки інтенсивним, що навіть матеріали, що знаходяться поблизу, можуть стати настільки гарячими, що викликають опіки при випадковому контакті.

Зварювання пов'язане з ризиком впливу на здоров'я різних шкідливих хімічних речовин, які виділяються під час зварювання окремих металів і сплавів. Такі гази, як озон і оксиди азоту, є типовими продуктами зварювання, особливо в закритих приміщеннях, де немає належної вентиляції. Пари важких металів, таких як свинець, кадмій і хром, можуть призвести до хронічних респіраторних захворювань та інших серйозних проблем зі здоров'ям. Тривалий вплив цих речовин без належного захисту може призвести до серйозного отруєння та тривалих проблем зі здоров'ям.

У процесі зварювання утворюються іскри та викидаються гарячі краплі металу, які можуть впасти на легкозаймисті матеріали, створюючи ризик пожежі чи навіть вибуху. Крім того, використовувані гази, такі як ацетилен і кисень, збільшують ризик пожежі та вибуху, якщо вони не зберігаються та не використовуються безпечно. Забезпечення належного зберігання легкозаймистих речовин, регулярна перевірка та підтримання порядку на робочому місці є ключовими для мінімізації цих ризиків.

Зварювання не тільки генерує інтенсивне тепло, але також породжує ультрафіолетове випромінювання, яке може серйозно пошкодити шкіру та очі. Тривале опромінення без належного захисту може призвести до опіків шкіри, погіршення зору та навіть розвитку очних захворювань, таких як катаракта. Крім того, через використання електрики також існує ризик ураження електричним струмом, що особливо небезпечно у вологих місцях, де електричний струм може легко проходити. Щоб уникнути подібних нещасних випадків, зварювальники повинні завжди дотримуватися суворих правил техніки безпеки.

Робота зварювальника пов'язана з ризиками, які можна значно зменшити за умови належного догляду та підготовки. Забезпечення безпеки при зварювальних роботах вимагає не тільки використання відповідних інструментів і технологій, а й суворого дотримання правил охорони праці, правильної організації робочого місця та використання відповідних засобів індивідуального захисту.

Суворе дотримання правил охорони праці має вирішальне значення для

запобігання нещасним випадкам. Регулярне навчання та курси підвищення кваліфікації з гігієни та безпеки праці необхідні для того, щоб кожен зварювальник був у курсі останніх стандартів безпеки та знав, як поводитися з потенційними небезпеками. Зварювальники повинні знати і розуміти всі правила роботи в їх конкретних умовах, що включає як правила експлуатації обладнання, так і дії в разі поломки або аварії.

Організація робочого місця має фундаментальне значення для забезпечення безпеки праці. Це включає утримання робочої зони в чистоті та порядку, щоб мінімізувати ризик пожежі та видалення непотрібних матеріалів, які можуть перешкоджати вільному пересуванню або становити додатковий ризик. Зварювальники також повинні забезпечити належне маркування небезпечних зон і забезпечити доступ до протипожежного обладнання та аптечок. Важливо, щоб робоче місце добре провітрювалося, що є критично необхідним при зварювальних роботах у закритих приміщеннях.

Правильний вибір захисних комплектуючих під час зварювання, таких як рукавиці, маски (краги), фартухи, захисні окуляри та робоче взуття, має важливе значення. Зварювальні маски повинні бути обладнані фільтрами, що захищають очі від інтенсивного світла та ультрафіолетового випромінювання. Не менш важливо, щоб зварювальники використовували рукавички, стійкі до високих температур та іскор, які захищають руки від опіків та інших механічних пошкоджень.

Основну відповідальність за безпеку несе сам зварювальник. Це включає дотримання всіх заходів безпеки, виконання інструкцій з експлуатації обладнання та збереження пильності під час роботи. Зварювальники повинні завжди знати про потенційну небезпеку та бути готовими діяти, коли виникають несподівані проблеми. Попередження інших працівників про зварювальні роботи, утримання зосередженої уваги та регулярна перевірка справності обладнання є додатковими кроками, які сприяють загальній безпеці.

Всі методи зварювання вимагають дотримання певного комплексу правил охорони праці. На зварювальника під час зварювання плавленням в тій чи іншій

мірі існує можливість небезпечних впливів в зв'язку з наступними факторами:

- ураження електричним струмом при дотику до струмоведучих частин електричного кола;
- ураження променями електричної дуги очей і відкритої поверхні шкіри;
- опіки від крапель металу і шлаку при зварюванні;
- отруєння шкідливими газами, що виділяються при зварюванні і при забрудненні приміщень пилом і випарами різних речовин;
- вибухи через неправильне поводження з балонами стисненого газу або через виробництво зварювання в ємностях з-під горючих речовин, або виконання зварювання поблизу легкозаймистих і вибухонебезпечних речовин;
- пожежі від розплавленого металу і шлаку в процесі зварювання;
- травми різного роду механічного характеру при підготовці важких виробів до зварювання і в процесі зварювання.

Для запобігання небезпеки ураження електричним струмом необхідно, щоб джерела живлення мали автоматичні пристрої, що відключають їх при обриві дуги протягом не більше 0,5 с.

З метою зменшення небезпеки ураження електричним струмом зварювальнику слід дотримуватися наступних заходів:

- надійна ізоляція всіх, проводів, пов'язаних з живленням джерела струму і зварювальної дуги;
- надійний пристрій електродотримача з гарною ізоляцією, яка гарантує, що не буде випадкового контакту струмоведучих частин електродотримача зі зварним виробом або руками зварника;
- робота у справно-сухому спецодязі і рукавицях. При роботі в тісних відсіках і замкнутих просторах обов'язкове використання гумових калош і килимків, джерел освітлення з напругою не більше 6-12 В.

Для запобігання небезпеки ураження бризками розплавленого металу і шлаку використовують спецодяг (брюки, куртку і рукавиці) з брезентової або спеціальної тканини. Куртки при роботі не слід вправляти у штани, а взуття

повинне мати гладкий верх, щоб бризки розплавленого металу не потрапляли всередину одягу, так як в цьому випадку можливі важкі опіки.

Небезпека виникнення пожеж від розплавленого металу і шлаку існує в тих випадках, коли зварювання виконують по металу, що закриває дерево або горючі матеріали, на дерев'яних лісах, поблизу легкозаймистих матеріалів тощо.

Про вимоги пожежної безпеки під час проведення зварювальних та інших вогневих робіт докладно читайте у журналі «Охорона праці і пожежна безпека» [11].

Створення і підтримання нормальних санітарно-гігієнічних умов праці у зварювальному виробництві досягається застосуванням системи профілактичних заходів. Видалення зварювального пилу і газів з робочого приміщення виконують насамперед за допомогою місцевої вентиляції для стаціонарних і нестаціонарних зварювальних постів. Місцеві відсмоктувачі розташовуються таким чином, щоб повітря, що відсмоктується, не проходило через зону дихання працівника.

Під час зварювання металів всередині закритих ємностей повинен використовуватися місцевий відсмоктувач біля зварювальної дури або установка загального вентилявання з обов'язковим використанням вентиляторів високого тиску і гнучких рукавів. Довжина і діаметр шлангів обираються так, щоб повний опір всієї системи становив 2000–2500 кг/м².

Виробничі приміщення (складально-зварювальні цехи) необхідно обладнати також загальною обмінною припливно-витяжною вентиляцією. Для компенсації повітря, що видаляється витяжною вентиляцією, повинен бути забезпечений його організований приплив. Забезпечується організація контролю за роботою витяжних вентиляційних пристроїв за затвердженим графіком, але не рідше одного разу в квартал.

Для захисту працівників на суміжних робочих місцях від небезпечних чинників, що супроводжують зварювання, ділянки зварювання металів повинні бути огорожені негорючими перегородками або конструкціями порталів, консолей. Відстань до проходів від місця зварювання повинна бути не менше

5 метрів для захисту сторонніх працівників від випромінювання зварювальної дуги. В разі унеможливлення виконання зазначених вимог біля місця зварювання повинні бути встановлені перегородки або ширми з негорючого матеріалу.

На кожне стаціонарне робоче місце працівника з електрозварювальних робіт, крім площі, займаної устаткуванням і проходами, повинно бути відведено не менше 4,5 м². На стаціонарних робочих місцях у положенні «стоячи» повинні використовуватися спеціальні підставки (підвіски) для зменшення статичного навантаження на руки працівника. Не дозволяється полегшувати навантаження на руку працівника перекиданням шланга (кабелю) через плече або навиванням його на руку працівника.

У виробничих приміщеннях зварювальних цехів, де проводяться роботи зі шкідливими речовинами (кислотами, лугами), для промивання очей і шкіри повинні бути передбачені душі і фонтанчики. Працівники повинні бути забезпечені питною водою, якість якої повинна відповідати Державним санітарним нормам та правилам «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» ДСанПін 2.2.4-171-10. Оброблення поверхонь виробничих приміщень повинно унеможливлювати накопичення пилу, поглинання парів та газів і дозволяти систематичне прибирання поверхонь вологим способом.

Боротьба з шумом ведеться як при створенні обладнання, так і при його розміщенні у виробничих приміщеннях. Там, де неможливо знизити рівень звукової потужності, наприклад при плазмових процесах, застосовують індивідуальні засоби захисту — протишумові навушники або вкладиші. Радикальним способом оптимізації умов праці зварників є впровадження автоматизації зварювальних операцій і застосування робототехніки.

Індивідуальні засоби захисту застосовуються також для захисту органів дихання. При невеликій концентрації газів у повітрі можна користуватися респіраторами. При високих концентраціях шкідливих (при зварюванні у колодязях, цистернах та інших замкнутих об'ємах) необхідно застосовувати шлангові протигази з примусовою подачею повітря. В останні роки розроблені і

отримали високу гігієнічну оцінку способи подачі припливного повітря в зону дихання зварника — безпосередньо під щиток.

До індивідуальних засобів захисту відносяться спецодяг і спецвзуття зварників. Для захисту очей та обличчя зварника використовують спеціальні щитки і маски із захисними світлофільтрами від осліплюючої видимої частини спектру випромінювання, ультрафіолетових і інфрачервоних променів.

Для захисту рук працівники повинні забезпечуватися рукавицями, виготовленими з іскростійкого матеріалу з низькою електропровідністю. Не дозволяється використовувати рукавиці і спеціальний одяг із синтетичних матеріалів типу лавсан, які не мають захисної властивості, руйнуються від випромінювань зварювальної дуги і можуть займатися від іскор і бризок розплавленого металу, спікатися при зіткненні з нагрітими поверхнями [28].

Для захисту ніг від опіків бризками розплавленого металу, механічних травм, переохолодження під час роботи на відкритому повітрі узимку, перегрівання під час зварювання виробів з підігрівом, а також від ураження електричним струмом особливо під час роботи в закритих ємностях, відсіках працівники повинні забезпечуватися спеціальним взуттям. Забороняється застосовувати взуття з відкритою шнурівкою і металевими цвяхами.

Роботи в закритих ємностях повинні виконуватися не менше, ніж двома робітниками, один з яких повинен знаходитися зовні зварювальної ємності для здійснення контролю за безпечним проведенням робіт зварювальником. У цього робітника кваліфікаційна група повинна бути не нижче III для даного виду робіт.

Електрозварник, що працює у середині ємності, повинен мати запобіжний пояс з закріпленою на ньому мотузкою, другий кінець якої довжиною не менше 2 м повинен знаходитися в руці іншого робітника, що знаходиться зовні ємності

Зварювальний агрегат необхідно підключити до живильної мережі через індивідуальний рубильник проводом відповідного перерізу згідно з інструкцією по експлуатації зварювальних агрегатів. При цьому відстань між зварювальним агрегатом і стіною має бути не менша за 0,5 м.

Підключати до електромережі і відключати від неї електрозварювальні

установки, а також ремонтувати їх повинні тільки електромонтери. Забороняється виконувати ці операції електрозварникам.

Під час виконання зварювальних робіт необхідно закривати обличчя щитком із світлофільтрами для захисту очей та обличчя від дії променів електричної дуги, а також бризок розплавленого металу.

Під час проведення електрозварювальних робіт безпосередньо на автомобілі електрозварник повинен спочатку заземлити раму або кузов автомобіля. Якщо зварювання ведеться безпосередньо близько від паливного бака, закрити його листом заліза чи азбесту від попадання іскор.

Перед проведенням зварювальних робіт на газобалонному автомобілі (газодизельному) газ необхідно випустити, а балони продути інертним газом і повідомити про це майстра.

Зварювання при ремонті ємності з-під пально-мастильних матеріалів треба робити після обробки їх 15–20%-ним розчином каустичної соди або продуванням сухою парою з наступною перевіркою вмісту небезпечних речовин в ємності за допомогою газоаналізатора.

Роботи в особливо небезпечних приміщеннях можна виконувати тільки після одержання наряд-допуску, якщо агрегат має електроблокування, що забезпечує автоматичне відключення зварювального ланцюга при заміні електрода, при холостому ході.

При стельовому зварюванні необхідно користуватися азбестовими або брезентовими нарукавниками, при зварюванні кольорових металів і сплавів, які містять цинк, мідь, свинець, – респіраторами з хімічним фільтром і проводити роботи тільки при працюючому місцевому відсмоктуванні.

Про початок зварювальних робіт необхідно попередити інших працівників, котрі перебувають поруч.

Під час роботи слід закривати обличчя щитком із світлофільтром для захисту очей та обличчя від дії променів електричної дуги, а також бризок розплавленого металу.

Зварювальні роботи в особливо небезпечних приміщеннях дозволено розпочинати після одержання наряду-допуску.

Роботи в закритих ємностях повинні виконуватися не менше, ніж двома працівниками, один з яких повинен перебувати зовні зварювальної ємності для здійснення контролю за безпечним проведенням робіт.

Під час проведення робіт на висоті електрозварник повинен застосовувати сумку для електродів та ящик для недогарків.

Повне або часткове копіювання будь-яких матеріалів сайту, цитування, публікація їх анотованих оглядів допускаються лише за письмового дозволу редакції сайту Служба охорони прац [29].

ВИСНОВКИ

У процесі виконання кваліфікаційної роботи було детально вивчено предметну область зварювання та проаналізовано основні сучасні методи зварювання, із визначенням їхніх переваг і недоліків. Для дослідження впливу параметрів електродів на міцність зварного з'єднання за технологією MMA був розроблений план експерименту.

У ході реалізації експерименту були обрані зварювальний апарат IGBT Dnipro-M SAB-17DFB та стенд для розривних випробувань моделі UIT STM 010 від компанії UKRINTECH, які дозволяють змінювати струм та навантаження на тестові зразки.

Було розроблено та реалізовано експериментальний план для вивчення впливу параметрів електродів на міцність зварного шва за технологією MMA. Використовувалися чотири типи електродів (з кислим, рутиловим, целюлозним і основним покриттям), різні струми зварювання, діаметри заготівок і матеріал сталі СТ-3.

Експериментальна частина включала виготовлення та тестування 48 зразків із використанням сталі СТ-3. Зразки зварювали при різних параметрах, включаючи зміну струму, тип електроду та товщини заготівок. Для обробки отриманих даних розроблено програмний код, який наведено у додатках.

Основні результати досліджень:

– проведено дослідження впливу струму зварювання на міцність шва. Встановлено, що збільшення струму підвищує якість проварювання, що забезпечує міцність зварного з'єднання.

– вивчено вплив товщини заготівок на якість шва. Виявлено, що для товстих заготівок потрібні більші значення зварювального струму для забезпечення повного проварювання.

– побудовано регресійно-кореляційну модель, яка дозволяє прогнозувати міцність зварного з'єднання залежно від змінних параметрів: типу електродів,

струму, товщини матеріалу.

Практичне значення роботи:

– отримані результати можуть бути використані для автоматизації процесів зварювання, зокрема в промислових умовах.

– розроблена модель є інструментом для прогнозування та оптимізації параметрів зварювання, що дозволяє знизити кількість дефектів і підвищити ефективність виробничих процесів.

Проведена робота підтверджує значний вплив параметрів зварювання на якість зварного з'єднання. Розроблена модель є універсальним інструментом, який можна використовувати для підвищення ефективності зварювальних процесів і впровадження інноваційних рішень у промислове виробництво.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Гуменюк І.В. Обладнання та технології зварювальних робіт: навч. посіб. Київ: Грамота, 2019. 120 с. Гуменюк І.В. Обладнання та технології зварювальних робіт : навч. посіб. Київ : Грамота, 2019. – 120 с.
2. Биковський О.Г. Зварювання, різання та контроль якості під час виробництва металоконструкцій : Київ : Основа, 2021. – 402 с.
3. Івченко П.С. Ручне дугове зварювання: навч. посіб. Кам'янське: Дніпровський державний технічний університет, 2018. 22 с.
4. Михайліцин С.В., Шешкеев М.А. Основи зварювального виробництва. Київ: Основа, 2019. 261 с.
5. Методичні вказівки з підготовки та захисту кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка, освітньо-професійних програм: «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи» / Упоряд. І. Ш. Невлюдов, Р. В. Артюх, В. В. Безкоровайний, Н. П. Демська, В. В. Євсєєв, О. І. Филипенко, О. М. Цимбал. Харків: ХНУРЕ, 2025. 49 с.
6. ДСТУ 3008–15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. Структура та правила оформлення. Введ. 2015–06–22. К. Держстандарт України, 2017. – 29 с.
7. А.О. Твердохліб Основні види зварювання. ММА зварювання та його застосування. Автоматизація та Приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2024) [Електронний ресурс] : збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки ; [редкол.: І.Ш. Невлюдов та ін.]. – Харків : ХНУРЕ, 2024. – Вип. 2. – 173–178 с.
8. Гаєвський О.А. Координація зварювальних робіт. Київ: Центр навчальної літератури, 2019. 168 с.
9. Молтасов А.В., Клочков І.Н., Мотрунич С.І. Розрахунок зусиль при контактному стиковому зварюванні виробів. Київ: Інститут електрозварювання

ім. Є.О. Патона НАН України, 2020. 122 с.

10. Патон Є.О. Основи зварювального виробництва. Київ: Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, 2020.

11. Охорона праці і пожежна безпека [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://mediapro.ua/product/elektronna-versiya-okhorona-pratsi-i-rozhezhna-bezpeka>

12. Токарева О.В. Теорія автоматичного управління. Харків: ФОП Панов А.М., 2020. 346 с.

13. Все про зварювання. Основи ММА-зварювання [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zvaruka.info>.

14. СварМакс. Технології дугового зварювання [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://svarmax.com.ua>.

15. Фроніус Україна. ММА-зварювання: переваги та недоліки [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.fronius.com/uk-ua/ukraine/zvaryvalni-tekhnologiyi/informatsiya-pro-produkt/ignis?referer>

16. Лашенко Г.І. Новітні технології зварювання в умовах автоматизації. Київ: Техніка, 2021. 280 с.

17. Зварювальні електроди: класифікація та використання. Київ: НАН України, 2018.

18. Машини та обладнання для зварювання. Харків: ХНУРЕ, 2020. 360 с

19. Кузнецов С.Г. Технології зварювання металевих конструкцій: навч. посіб. Харків: ХНУРЕ, 2017. 300 с.

20. Невлюдов І.Ш., Андрусевич А.О. Дипломне проектування для студентів спеціальності «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Київ, 2018. 320 с.

21. Гогіташвілі Г.Г., Лапін В.М. Основи охорони праці. Львів: Новий світ–2000, 2008. 232 с.

22. Технології зварювання. Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://paton.ua>.

23. Куліш О.П., Мазур А.В. Зварювання в машинобудуванні: довідник. Київ: Основа, 2021. 370 с.

24. Лащенко Г.І. Високотехнологічне зварювання металів. Київ: Грамота, 2021. 215 с.

25. Андрусевич А.О., Пономарьова Г.В. Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації: навч. посіб. Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2018. 332 с.

26. Моторний В.І. Методи неруйнівного контролю якості зварних з'єднань Київ: Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, 2021. 158 с.

27. Коваленко І.В. Зварювальне обладнання та процеси. Львів: Львівська політехніка, 2019. 240 с.

28. Основні вимоги до умов праці під час виконання зварювання металів [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://kr.dsp.gov.ua/>

29. Інструкція з охорони праці електрозварника [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://pro-op.com.ua/article/1042-nstruktsya-z-ohoroni-prats-elektrozvarnika#anc_3