Національний технічний університет України
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені Ігоря Сікорського»

Навчально-науковий інститут матеріалознавства та зварювання імені Є.О. Патона
Кафедра зварювального виробництва

«На правах рукопису»
УДК 621.791.763

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО

Завідувач кафедри
_____ Віктор КВАСНИЦЬКИЙ
(підпис) «___»_____2024 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-науковою програмою «Прикладна механіка»

зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»

на тему: «Оптимізація механічних характеристик хрестоподібних з'єднань дротів, які виконані контактним точковим зварюванням»

Виконав:
студент 2 курсу, групи ЗВ-21мн
Козлов Олег Володимирович _____

Науковий керівник:
Доцент кафедри ЗВ, к.т.н., доцент,
Чвертко Євгенія Петрівна _____

Консультант з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях:
Зав. каф., д.т.н., професор,
Левченко Олег Григорович _____

Рецензент:
к.т.н., с.н.с. ІЕЗ ім. Є.О.Патона НАН України,
Кавуніченко Олександр Васильович _____

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студент _____
(підпис)

Київ – 2024 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Навчально-науковий інститут матеріалознавства та зварювання імені Є.О. Патона

Кафедра зварювального виробництва

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-наукова програма – «Прикладна механіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Віктор КВАСНИЦЬКИЙ

«___»_____2024 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Козлову Олегу Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Оптимізація механічних характеристик хрестоподібних з'єднань дротів, які виконані контактним точковим зварюванням»

науковий керівник Чвертко Євгенія Петрівна, к.т.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «25» березня 2024 р. № 1451-с

2. Термін подання студентом дисертації «06» червня 2024 р.

3. Об'єкт дослідження: хрестоподібні з'єднання дротів, які виконані контактним точковим зварюванням

4. Предмет дослідження: механічні та геометричні характеристики з'єднань

5. Перелік завдань, які потрібно розробити

- проаналізувати особливості утворення хрестоподібних з'єднань дротів при контактному точковому зварюванні;
- дослідити залежність характеристик зварних хрестоподібних з'єднань дротів діаметром 3, 4 та 5 мм від основних параметрів режиму контактного точкового зварювання;

- розробити регресійні моделі, які пов’язують основні параметри режиму контактного точкового зварювання із характеристиками зварних хрестоподібних з’єднань дротів;

- розробити методику визначення основних параметрів режиму контактного точкового зварювання за заданими характеристиками з’єднань.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу

- основні механічні та геометричні характеристики хрестоподібних з’єднань дротів, їхній взаємозв’язок з основними параметрами режиму контактного точкового зварювання;

- методика проведення експериментів, аналіз результатів;

- моделювання залежностей основних характеристик з’єднань від параметрів режиму контактного точкового зварювання;

- методика визначення параметрів режиму за заданими характеристиками.

7. Орієнтовний перелік публікацій
Тези конференцій — 2 шт.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Зав. каф. Левченко О.Г.		

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз особливостей утворення з’єднань	січень 2023 р.	
2	Розробка методики експериментальних досліджень	Травень 2023 р.	
3	Проведення експериментів, визначення характеристик зварних з’єднань	Січень 2024 р.	
4	Побудова моделей, розробка методики визначення параметрів режиму зварювання	Квітень 2024 р.	
5	Огляд питань охорони праці	Травень 2024	
6	Оформлення роботи	До 6 червня 2024 р.	

Студент Олег КОЗЛОВ

Науковий керівник Євгенія ЧВЕРТКО

РЕФЕРАТ

Актуальність теми

Оптимізація контактного зварювання хрестоподібних і рельєфних з'єднань дротів є важливим напрямком досліджень, особливо в контексті виробництва і промисловості. Такі оптимізації можуть спрямовуватися на підвищення продуктивності, зниження витрат енергії, поліпшення якості зварних з’єднань та збільшення тривалості життєвого циклу обладнання.

Дослідження в цій галузі може сприяти розвитку нових технологій та покращенню виробничих процесів.

Мета і задачі дослідження

Метою даної дисертації є оптимізація режиму контактного точкового зварювання з урахуванням впливу його параметрів на механічні та геометричні характеристики хрестоподібних з’єднань дротів діаметром 3, 4 та 5 мм.

Відповідно до мети були поставлені такі задачі дослідження:

1. Експериментально дослідити залежність між основними параметрами режиму контактного точкового зварювання та механічними і геометричними характеристиками хрестоподібних з’єднань дротів

2. Встановити характеристики зварного з’єднання, які адекватно відображають комплекс його механічних та геометричних властивостей, та які дозволяють виконати контроль якості у виробничих умовах

3. Розробити математичні моделі, які описують залежність механічних та геометричних характеристик зварного з’єднання від основних параметрів режиму зварювання

4. Розробити методику визначення основних параметрів режиму зварювання за заданими характеристиками зварного з’єднання

Об'єкт дослідження – хрестоподібні з’єднання дротів, які виконані контактним точковим зварюванням.

Предмет дослідження – механічні та геометричні характеристики хрестоподібних з’єднань дротів діаметром 3, 4 та 5 мм, виконаних контактним точковим зварюванням.

Методи дослідження

Експериментальне визначення взаємозв’язків між характеристиками хрестоподібних з’єднань дротів діаметром 3, 4 та 5 мм (механічними та геометричними) із основними параметрами режиму зварювання.

Побудова математичних моделей указаних залежностей.

Практичне значення одержаних результатів

Застосування розробленої технології процесу та модифікованої установки для складання дозволяють спростити процес складання та зварювання, тим самим збільшить продуктивність процесу виготовлення одиниць виробу та зменшить кількість відбракованих з’єднань.

Магістерська дисертація включає: розрахунково-пояснювальну записку, яка складається з реферату, змісту, переліку умовних позначень, 5 розділів, висновків по розділам, переліку посилань. Обсяг роботи:85 сторінок.

Ключові слова: контактне точкове зварювання, параметри режиму зварювання, хрестоподібне з’єднання дротів, математична модель, геометричні та механічні характеристики.

ABSTRACT

Relevance of the topic

Optimization of resistance welding of cross and embossed wire joints is an important area of research, especially in the context of manufacturing and industry. Such optimizations can be aimed at increasing productivity, reducing energy consumption, improving the quality of welded joints, and increasing the life cycle of equipment.

Research in this area can contribute to the development of new technologies and improve production processes.

Research goal and objectives

The purpose of this thesis is to optimize the mode of resistance spot welding, taking into account the effect of its parameters on the mechanical and geometric characteristics of cross-shaped joints of wires with diameters of 3, 4, and 5 mm.

In accordance with the goal, the following research objectives were set:

1. To experimentally investigate the relationship between the main parameters of the resistance spot welding mode and the mechanical and geometric characteristics of cross-shaped wire joints

2. To determine the characteristics of the welded joint that adequately reflect the complex of its mechanical and geometric properties and that allow for quality control in production conditions

3. Develop mathematical models that describe the dependence of the mechanical and geometric characteristics of the welded joint on the main parameters of the welding mode

4. To develop a methodology for determining the main parameters of the welding mode according to the specified characteristics of the welded joint

Object of study - cross-shaped wire joints made by contact points

The **subject of the study** is the mechanical and geometric characteristics of cross-shaped joints of wires with diameters of 3, 4, and 5 mm made by resistance spot welding.

Research methods

Experimental determination of the relationships between the characteristics of cross-shaped joints of wires with diameters of 3, 4, and 5 mm (mechanical and geometric) and the main parameters of the welding mode.

Construction of mathematical models of these dependencies.

Practical significance of the results

The application of the developed process technology and the modified assembly unit will simplify the assembly and welding process, thereby increasing the productivity of the manufacturing process of product units and reducing the number of rejected joints.

The master's thesis includes: a calculation and explanatory note, which consists of an abstract, table of contents, list of symbols, 5 chapters, conclusions on the chapters, list of references. Volume of work: 85 pages.

Keywords: resistance spot welding, parameters of the welding mode, cross-shaped wire connection, mathematical model, geometric and mechanical characteristics.

ЗМІСТ

ЗМІСТ 8

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ 10

ВСТУП 11

1 ОСОБЛИВОСТІ УТВОРЕННЯ З'ЄДНАНЬ ПРИ КОНТАКТНОМУ ТОЧКОВОМУ ЗВАРЮВАННІ 13

1.1 Загальна характеристика контактного точкового зварювання 13

1.2 Особливості зварювання хрестоподібних з'єднань стержнів малого діаметра 16

1.3 Аналіз матеріалу зварного виробу 24

Висновки за розділом 1 25

2 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА УСТАНОВКА 26

2.1 Регульовані та контрольовані параметри 26

2.2 Експериментальна установка 28

2.3 Постановка експерименту 31

2.4 Формування вимог до оцінювання якості зварних з'єднань 35

Висновки за розділом 2 36

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ХРЕСТОПОДІБНИХ З'ЄДНАНЬ ДРОТІВ, ВИКОНАНИХ КОНТАКТНИМ ТОЧКОВИМ ЗВАРЮВАННЯМ 37

3.1 Дослідження характеристик з'єднань дротів діаметром 3 мм 37

3.2 Дослідження характеристик з'єднань дротів діаметром 4 мм і 5 мм 43

Висновки за розділом 3 52

4. МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ КОНТАКТНОГО ТОЧКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ЗА ЗАДАНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ 54

Висновки за розділом 4 59

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ 60

5.1 Загальна характеристика установки, умови експлуатації 60

5.2 Оцінка умов праці 65

5.3 Системи заходів і засобів безпечної експлуатації електроустановок для контактного зварювання 73

5.4 Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях 76

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ 80

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 82

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

α - кут взаємного скручування двох з'єднаних дротів в площині утвореного ними зразка, при якому починалося його руйнування;

b_n – коефіцієнт моделі;

d – діаметр дроту;

d_e – діаметр електроду,

$I_{зв}$ – струм зварювання;

i – номер досліду;

I_j – інтервал зміни фактора;

f – число ступенів свободи;

j – номер фактора;

H – нев'язка;

$H_{\sum}$ – сумарна висота зразка;

n – кількість повторних дослідів;

N – кількість дослідів;

$P_{зв}$ – зусилля стискання між електродами;

S_p – площа рідкої фази в зварному з'єднанні;

$T_{зв}$ – час зварювання;

X_n – фактор;

y – параметр оптимізації;

$y_{експ.j}$ – експериментальне значення вихідного параметру для кожного досліду;

$y_{ср}$ – середнє значення вихідного параметру для кожного досліду.

ВСТУП

Можна з упевненістю сказати, що на порозі третього тисячоліття зварювання – один із ведучих технологічних процесів. До 2/3 світового споживання сталевого прокату йде на виробництво зварних конструкцій і споруд. Зварюванню піддаються практично будь-які метали і неметали в будь-яких умовах на землі, в морських глибинах і в космосі. Товщина деталей, що зварюються, коливається від мікронів до метрів, маса зварних конструкцій від часток грама до сотень і тисяч тон. Найчастіше зварювання є єдино можливим, чи найбільш ефективним способом створення нероз'ємних з'єднань конструкційних матеріалів і одержання заготовок, максимально наближених до оптимальної форми готової деталі конструкції.

Більше половини валового національного продукту промислово розвинених країн створюється за допомогою зварювання і родинних технологій, до яких ми відносимо наплавку, пайку, різання, нанесення покриттів, склеювання різних матеріалів. Науково-технічне поняття «зварювання» охоплює такі суміжні напрямки, як заготовка і збирання, діагностика і неруйнівний контроль, техніка безпеки й екологія зварювальних процесів.

Контактне зварювання (точкове, рельєфне і роликове) відноситься до числа найбільш розповсюджених способів.

Машини для контактного зварювання міцно утримують друге місце на ринку зварювального устаткування, обсяги їхнього застосування також мають тенденцію до росту

Економічна доцільність використання сіткових конструкцій спричиняє постійно зростаючу потребу у якісному виготовленні. Існує потреба виготовлення сіток різного призначення від сіток підвищеної міцності до конструкцій підвищеної декоративної якості. Це зумовлює необхідність застосування широкого діапазону режимів зварювання. Використання контактного точкового зварювання дозволяє значною мірою механізувати та

автоматизувати процес виготовлення сіткових конструкцій. Збільшення кількості електродів призводить до зростання продуктивності зварювання сіток.

Головним показником якості сіткових конструкцій з дроту малого діаметру (3 – 6 мм), які використовуються в побутовій техніці, як торгівельна тара, рекламні конструкції тощо, є насамперед декоративні властивості хрестоподібних або рельєфних з'єднань елементів виробів. Особливу актуальність цей показник набуває при використанні декоративних та захисних покриттів для цих конструкцій з таких металів як цинк, нікель, хром, нітрид титану. Необхідність отримання якісного зовнішнього вигляду з'єднання потребує більш детального дослідження процесу.

Метою даної роботи було оптимізувати параметри процесу контактного зварювання для досягнення мети одержання декоративного з'єднання, розробити математичну модель процесу формування зварного з'єднання при контактному зварюванні дротів, що перехрещуються за умови, встановити узагальнений параметр якості, за допомогою якого можна було б встановити якість зварного з'єднання без його руйнування. Дослідження проводились на дротах виготовлених із сталі Ст3 за ДСТУ 2651:2005. Зварювання проводилося на модернізованій контактній точковій машині МТ 1215 У4.

Оцінювали зовнішній вигляд з’єднання за кількістю грату. Дослідили вплив сили стискання електродів, сили зварювального струму та часу нагрівання на ряд характеристик зварного з’єднання. Для дротів діаметром 3, 4 та 5 мм визначено універсальну характеристику якості з’єднання, розроблено методику визначення параметрів режиму зварювання за заданими властивостями з’єднання.

1 ОСОБЛИВОСТІ УТВОРЕННЯ З'ЄДНАНЬ ПРИ КОНТАКТНОМУ ТОЧКОВОМУ ЗВАРЮВАННІ

1.1 Загальна характеристика контактного точкового зварювання

Контактне зварювання відноситься до найбільш поширених видів зварювання. Розрізняють декілька способів контактного зварювання, основні з них точкове, шовне, стикове опором та оплавленням, рельєфне.

Точкове контактне зварювання – спосіб зварювання тиском, який використовують для отримання напусткових з'єднань заготовок окремими точками або рядом точок, розташованих на певній відстані одна від одної. Нагрівання та плавлення з'єднуваних поверхонь відбуваються у межах точкового контакту між електродами, що підводять електроенергію та здійснюють тиск [1].

При цьому зварюванні деталі збираються напуск і зварюють по окремим обмеженим ділянкам торкання, які називають точками через їхню характерну форму. Для виробництва зварювання деталі щільно притискають електродами зварювальної машини (рис. 1.1), потім нагрівають короткочасним імпульсом електричного струму [2].

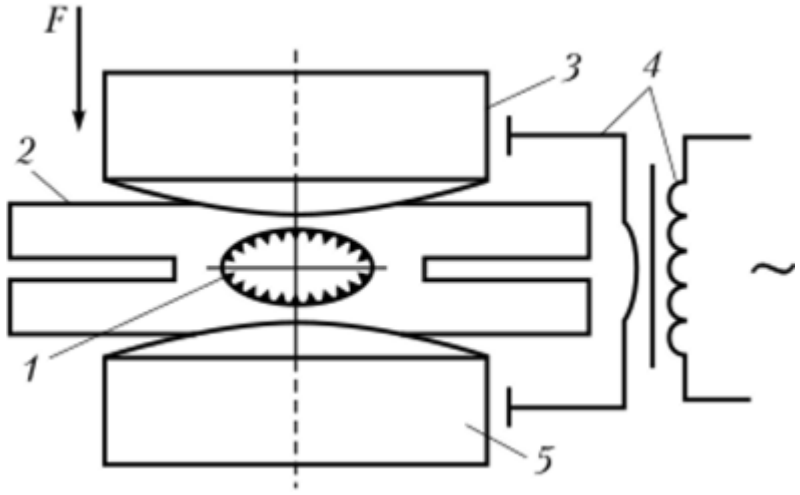


Рисунок 1.1 – Схема точкового зварювання: 1 – ядро; 2 – деталі, що зварюються; 3 – верхній електрод; 4 – трансформатор (джерело струму); 5 – нижній електрод

Процес контактного точкового зварювання відбувається у такій послідовності [2]. У початковий момент відбуваються утворення електричного контакту, розширення нагрітого металу і збільшення в результаті цього зазору між деталями. Частина металу під впливом тиску електродів витісняється в зазор, створюючи ущільнюючий поясок. В подальшому утворюється розплавлене ядро, спостерігаються руйнування оксидних плівок, їх перемішування з рідким металом. Подальше пластичне витікання металу в зазор збільшує ущільнюючий поясок навколо рідкого ядра і перешкоджає його видавлювання, а також захищає розплавлений метал від взаємодії з атмосферою.

Після виключення зварювального струму відбувається інтенсивна кристалізація ядра, що завершується утворенням монолітного з'єднання обох деталей в точці дотику.

Для того щоб в період кристалізації нетривка точка не була зруйнована внаслідок пружних сил конструкції, тиск з електродів не знімається, причому чим більше товщина металу і жорсткість вузла, що зварюється, тим більше має бути час витримки точки під тиском. Крім того, при кристалізації відбувається усадка металу і в ньому можуть утворюватися усадочні рихлоти і несуцільності.

У цей же час в ядрі виникають напруження розтягу, які можуть стати причиною утворення тріщин. Створення в центрі ядра за рахунок тиску електродів зони стискаючих напружень дозволяє знизити ймовірність утворення тріщин. Вона ще більш знизиться в разі застосування кувального зусилля, тобто різкого (в 2-3 рази) збільшення тиску на електродах на завершальній стадії зварювання.

Час прикладання зусиль стиснення і подачі зварювального струму визначаються заданою циклограмою процесу з'єднання металу [3].

Переваги контактного точкового зварювання [3]:

- Можливість зварювання тонких і дуже тонких деталей з металів у різнорідному та однорідному сполученні (в тому числі і дорогих або легкоплавких сплавів). У багатьох випадках така можливість буває вельми корисною, а апарат точкового зварювання – незамінною машиною.
- Хороші характеристики зварювального з'єднання, а також гарний зовнішній вигляд з’єднань. З'єднання, отримані контактної зварюванням, не схильні до старіння, структура металу в зоні зварювання практично не змінюється, за винятком деякого збільшення розміру зерен.
- Висока продуктивність контактного точкового зварювання. Існують машини контактного точкового зварювання, що дозволяють виконувати до восьмисот зварювальних точок в хвилину.
- Повна автоматизація процесу точкового зварювання. Все більшого поширення набувають автоматизовані машини контактного зварювання, зварювальні роботи і т.д. Це дозволяє істотно скоротити витрати праці, знизити собівартість устаткування і підвищити продуктивність роботи.
- Економічне витрачання електродів, електричної енергії та інших матеріалів. Собівартість зварних точок також досить низька – хоча апарат точкового зварювання коштує досить дорого, за рахунок економного витрачання матеріалів, високої продуктивності апарату і тривалого терміну служби собівартість цього безперечно незамінного обладнання виходить низькою.
- Низькі вимоги до кваліфікації персоналу – для того, щоб використовувати апарат точкового контактного зварювання, зовсім не обов'язково бути висококваліфікованим спеціалістом.

Область застосування контактного зварювання надзвичайно широка від космічних апаратів до мініатюрних напівпровідникових пристроїв і плівкових мікросхем. Видне місце займає цей спосіб і в літакобудуванні – на сучасних авіалайнерах налічується мільйони зварних точок і сотні метрів швів, виконаних контактним шовним зварюванням. Досить широко застосовується контактне зварювання в автомобілебудуванні, вагонобудуванні, суднобудуванні та будівництві [5].

1.2 Особливості зварювання хрестоподібних з'єднань стержнів малого діаметра

У розглянутій літературі та запатентованих винаходах майже не приділялось уваги питанню зварювання дротів діаметром 2-5 мм. Ще менше уваги дослідники приділяли зварюванню сіткових конструкцій з дротів діаметром 2-5 мм.

Останнім часом багато уваги приділяють автоматизації процесів контактного точкового зварювання, що потребує математичного моделювання процесів на основі теоретичних розрахунків чи експериментально-статистичних методів [6,7]. Також чимало уваги приділяли автоматизації процесу контролю та оцінки якості контактного точкового зварювання [8,9,10]. Результатів дослідження проблем забезпечення декоративних показників зварних хрестоподібних з'єднань в доступній літературі не виявлено.

Контактне зварювання сталевих стержнів, що перехрещуються – не новий, але порівняно мало вивчений технологічний процес, який одержав поштовх до розвитку у зв'язку з розширенням області використання залізобетону та переходу на нові методи армування – армування збільшеними блоками у вигляді зварних каркасів та сіток. При виготовленні арматурних каркасів та сіток контактне електрозварювання зарекомендувало себе, як один з найбільш економічних способів.

Хрестоподібне зварювання використовують широко при виготовленні арматури залізобетонних конструкцій, а також в виробництві сіток, решіток, елементів холодильників та інших виробів, зокрема побутового та декоративного призначення (рис. 1.2) [11].

а

б

в

г

Рисунок 1.2 – Приклади конструкцій, які містять хрестоподібні з’єднання тонких дротів, виконані контактним точковим зварюванням: а – габіон; б – арматурна сітка; в – візок для супермаркета; г – декоративна прикраса (фото з відкритих інтернет-джерел)

Зварювання супроводжується значною пластичною деформацією металу стержнів в процесі їх спільної деформації. Тому з'єднання частково формується в твердому стані, при цьому можливе утворення з’єднань, аналогічних для рельєфного зварювання – із дуже малим відносним вмістом рідкої фази [9,12,13]. В зв'язку з високою початковою щільністю струму частина металу в контакті між стержнями нагрівається до розплавлення (рис. 1.3). У процесі пластичної деформації стержнів під час осадки розплавлений метал видаляється із зони з'єднання, але частина його при малому зусиллі стискання може залишитися в з'єднанні. Досліди показали, що міцність зварного з'єднання з ділянками литої зони нижче міцності з'єднань, які були отримані без участі розплавленого металу. Тому для отримання міцного зварного з'єднання необхідно застосовувати достатньо великі зусилля стискання.

З'єднання, які отримуються при зварюванні круглих стержнів однакового діаметру, мають форму круга, а при зварюванні стержнів різного діаметру – форму еліпса.

Схематизуючи процес контактного зварювання хрестоподібних з'єднань, можна зобразити його як сукупність безперервно взаємодіючих процесів, що протікають одночасно, основними з яких є (рис. 1.4) [11,13,14]:

а) пластична деформація в зоні зварювання стержнів (осадка),

б) розподіл струму в стержнях,

в) розподіл джерел теплоти,

г) розподіл температури.

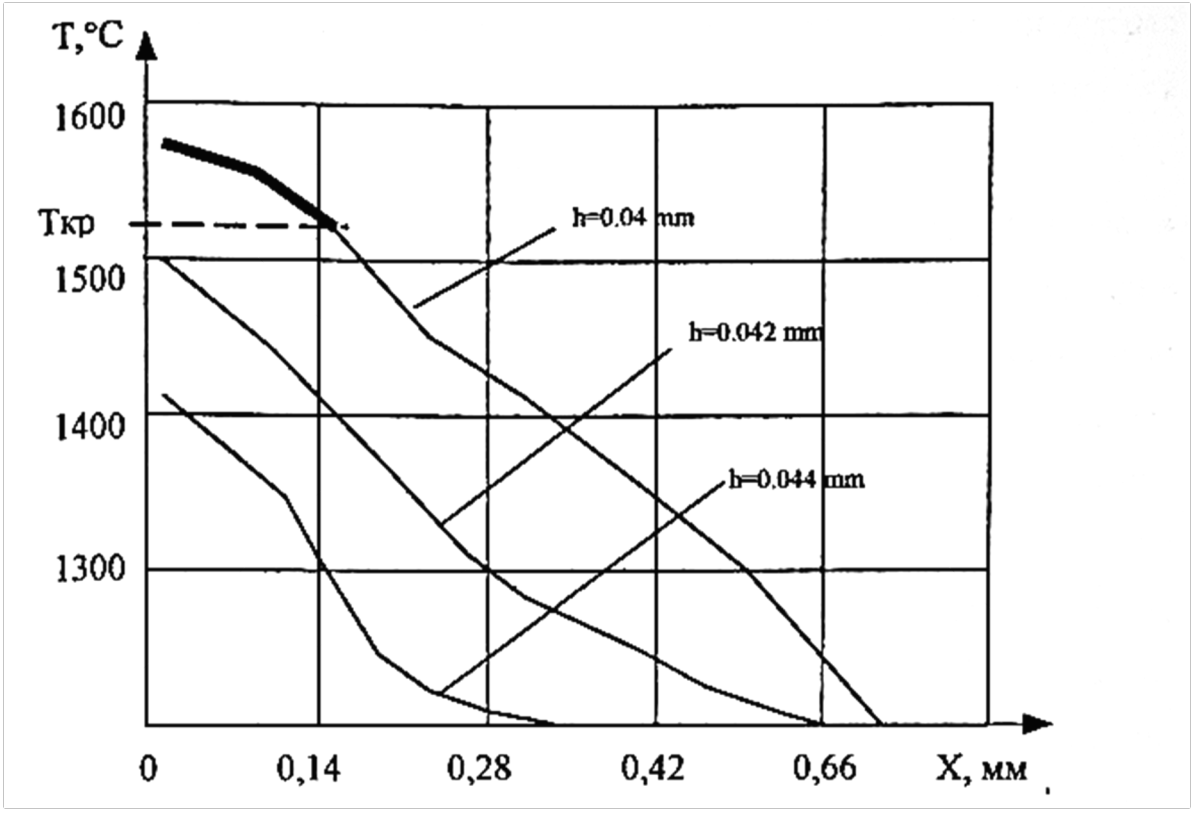


Рисунок 1.3 – Розподіл температури в дроті діаметром 3 мм в залежності від відстані до центру зварної точки при струмі зварювання 950 А для різної глибини проплавлення [13]

При даному співвідношенні діаметрів стержнів, що зварюються осадка в будь-який момент процесу зварювання безпосередньо впливає на характер поля струму, котре в свою чергу впливає на розподіл джерел теплоти. Температурне поле залежить від поля джерел теплоти та безперервно змінюється в процесі зварювання.

Зміна ж температурного поля перерозподіляє джерела тепла в наслідок місцевого підвищення питомого опору металу і струм в стержні в наслідок відтиснення його з нагрітих ділянок металу із пониженою провідністю в більш холодні ділянки з меншим опором, а також впливає на осадку через зміну пластичності металу стержнів по мірі їх нагрівання.

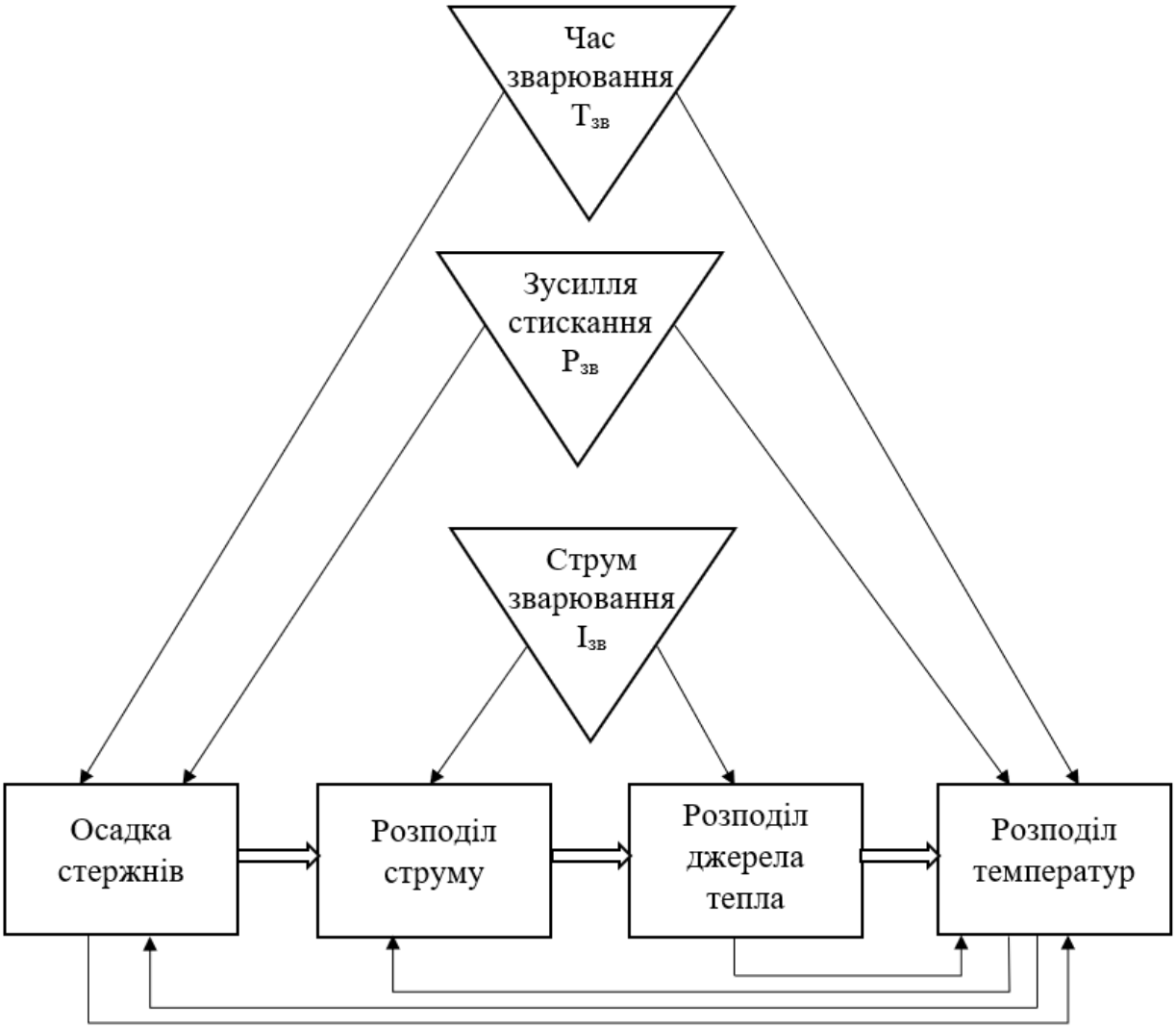


Рисунок 1.4 – Схема взаємозв'язку процесів осадки стержнів, розподілу струму, джерел теплоти та розподілу температури і залежність цих процесів від параметрів режиму зварювання

Характер протікання цих процесів обумовлений величиною та співвідношенням регульованих параметрів режиму зварювання: струму *Ізв*, зусилля стискання *Рзв* та час зварювання *Тзв*. Такий тісний зв'язок осадки, розподілу струму та поля температур приводить до висновку про те, що для правильного представлення про процес зварювання в цілому необхідно провести спільний аналіз процесу розподілу струму, процесів нагріву та місцевого пластичного деформування.

Основні та супутні процеси, які відбуваються при контактному точковому зварюванні і мають значний вплив на його формування зображені на рис. 1.5.

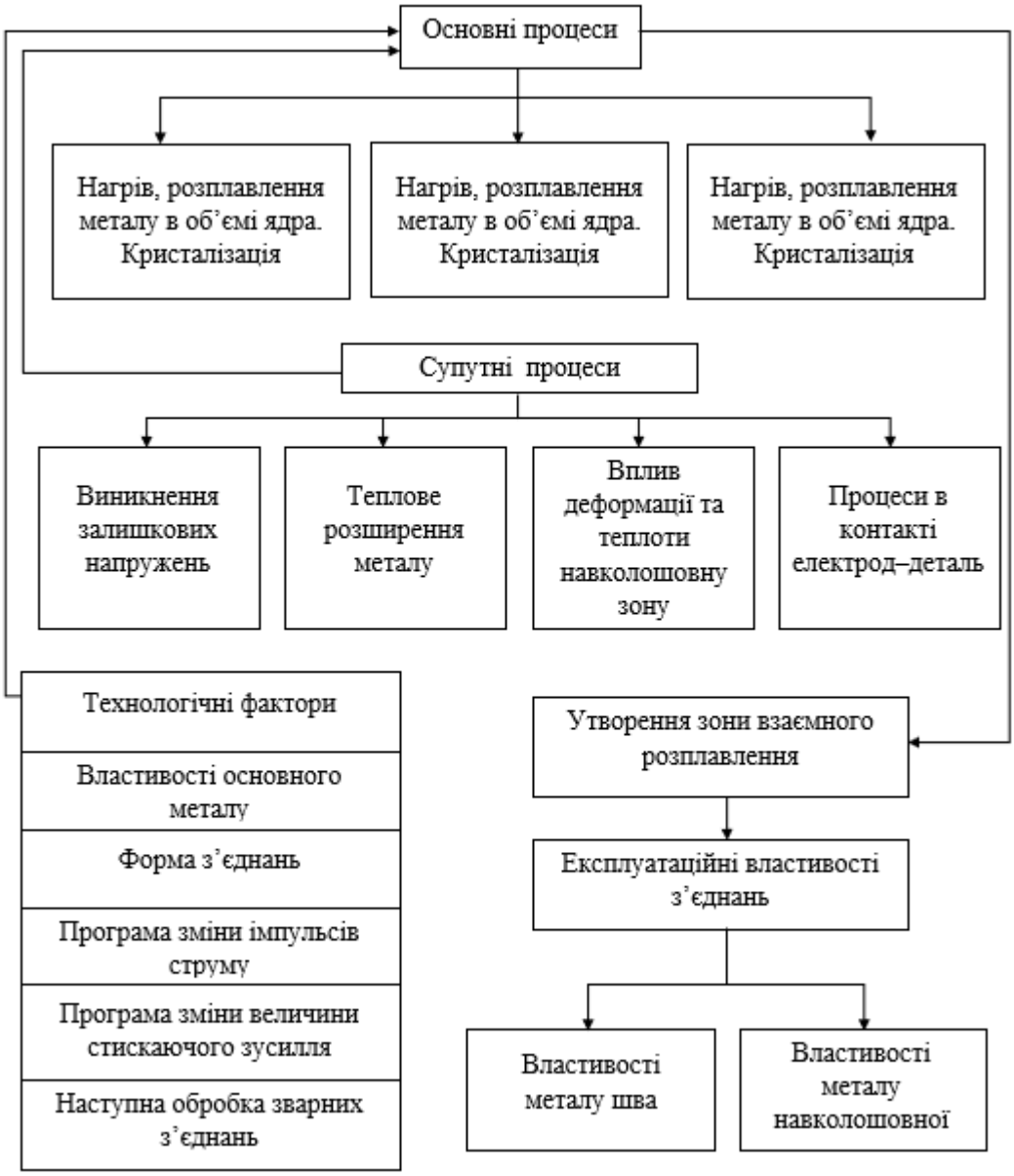


Рисунок 1.5 – Схема процесів утворення з'єднань при контактному точковому зварюванні [5]

Прикладення великої сили струму та малого часу зварювання в зварному з'єднанні виникає багато вибризків. Теж саме спостерігається при взаємодії великої сили струму та малої сили стискання електродів. Великий вплив має сила

стискання електродів. При малому зусиллі стискання контактний опір великий і сильний локальний нагрів дротів призводить до плавлення великого об'єму металу і його часткового вибризкування. Але через мале зусилля стискання оксидні плівки не видаляються із зони зварного з'єднання, що і обумовлює появу пористості та в свою чергу знижує міцність зварного з'єднання.

При великих зусиллях стискання метал у з'єднанні може майже не розплавитись і зварювання буде відбуватись як при зварюванні опором без витискання грату. Дроти розігріються до температури пластичної деформації та втиснуться один в другий. Якість з'єднання погіршиться за рахунок утворення майже суцільної окисної плівки в місці зварювання [12,13,15]. Розмір контактної поверхні електрода та зусилля стискання впливають не тільки на умови пластичного деформування дротів у місці з'єднання, а і на величину їх електричного опору. Зміна перехідного, а в деякій мірі в власного опору дроти в зоні контакту, змінює площу контакту дротів і таким чином впливає на умови нагрівання металу в зоні зварювання. Також величина контактних поверхонь впливає на тепловідвід в електроди [12]. Охолоджуюча дія електродів помітна лише на тих ділянках стержнів, які знаходяться безпосередньо біля електродів. В таких ділянках при обтисненні стержнів між електродами після вимикання зварювального струму спостерігається найвища швидкість охолодження, а після розмикання електродів деяке підвищення температури або різке зниження швидкості охолодження.

Зменшення струму при одночасному збільшенні часу його протікання та зусилля стискання електродів можливе утворення з'єднання з необхідними значеннями осадки, але механічні властивості зварного з'єднання, зокрема міцність, значно зменшиться, та, як окисні плівки не встигнуть видалитись.

При збільшенні часу протікання струму зварювання (при Ізв = const) міцність зварної точки спочатку безперервно росте майже до міцності цілого розтягнутого стержня. З цього моменту, не дивлячись на те, що міцність точки

зростає, міцність з'єднання залишається сталою, оскільки руйнування зразка може відбуватись по стержню. Далі починається перегрів металу в зоні зварювання, що викликає зменшення міцності зварного з'єднання та зниження її стабільності.

Для отримання якісного хрестоподібного зварного з'єднання стержнів діаметром від 3 до 70 мм з сталей марок Ст3 та Ст5 виявились прийнятними щільності струму в межах 10 – 200 А/мм^2 [12,13,14].

За малої щільності струму стержні прогріваються повільно, але глибоко, при цьому спостерігається значна пластична деформація в зоні зварювання та відносно мала кількість розплавленого металу. При великих зусиллях стискання між електродами процес наближається до зварювання опором. Найвища швидкість осадки стержнів при зварюванні як на жорсткому так і на м'якому режимах спостерігається в початковий момент процесу нагрівання. При зварюванні на м'якому режимі осадка нароста’ повільніше ніж при зварюванні на жорсткому режимі.

Швидкість осадки при зварюванні на м'якому режимі різко зменшується в момент вимикання зварювального струму, при зварюванні на жорсткому режимі швидкість осадки різко падає ще до моменту вимикання струму. Тому, бажано зварювати стержні на більш жорстких режимах, так як при цьому зменшуються витрати електроенергії та підвищується продуктивність. Практично зварювання на високих щільностях струму (100 – 200 А/мм²) можливе тільки для стержнів малих та середніх діаметрів.

Від цих параметрів режиму контактного зварювання найбільше залежать якість зварного з'єднання та його властивості. Основним показником якості декоративних зварних з'єднань був визначений зовнішній вигляд пояска (напливу) у хрестоподібному з'єднанні, враховуючи плавність обрисів та його рівномірність по периметру. Особливу актуальність цей показник набуває при

використанні декоративних захисних покриттів для цих конструкцій з таких металів як цинк, нікель, хром, золото.

1.3 Аналіз матеріалу зварного виробу

Для досліду був взятий дріт, виготовлений з вуглецевої сталі звичайної якості Ст3 за ДСТУ 2651:2005, яка використовується для виготовлення несучих елементів зварних і незварних конструкцій і деталей. Хімічний склад сталі Ст3сп вказаний в таблиці 1.1. , а механічні властивості в таблиці 1.2.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сплаву Ст3сп, ваг. % (ДСТУ 2651:2005) [16]

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 1.2 – Механічні властивості сплаву Ст3сп (ДСТУ 2651:2005) [17,18]

Межа міцності, Rm (МПа), Н/мм^2	Мінімальна межа плинності, ReH (МПа)				Мінімальне відносне подовження σ,%		
	До 20	20-40	40-100	Більш 100	До 20	20-40	Більш 40
370-480	245	235	225	205	26	25	23

Висновки за розділом 1

1. Проаналізовано особливості утворення з’єднань при контактному точковому зварюванні. Наведено стадії процесу утворення зварного з’єднання, охарактеризовано основні параметри режиму зварювання, типові дефекти та стадії, на яких вони утворюються.

2. Подано характеристику основних та супутніх процесів при контактному точковому зварюванні.

3. Подано основні характеристики тонких дротів із сталі Ст3 (ДСТУ 2651:2005).

ПОСТАНОВКА МЕТИ І ЗАДАЧ РОБОТИ

Мета роботи

Підвищення якості хрестоподібних з’єднань дротів шляхом оптимізації режиму контактного точкового зварювання з урахуванням впливу його параметрів на механічні та геометричні характеристики з’єднань.

Задачі

1. Експериментально дослідити залежність між основними параметрами режиму контактного точкового зварювання та механічними і геометричними характеристиками хрестоподібних з’єднань дротів.

2. Встановити характеристики зварного з’єднання, які адекватно відображають комплекс його механічних та геометричних властивостей, та які дозволяють виконати контроль якості у виробничих умовах.

3. Розробити математичні моделі, які описують залежність механічних та геометричних характеристик зварного з’єднання від основних параметрів режиму зварювання.

4. Розробити методику визначення основних параметрів режиму зварювання за заданими характеристиками зварного з’єднання.

2 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА УСТАНОВКА

2.1 Регульовані та контрольовані параметри

Дослідження проводились на дротах виготовлених із сталі СтЗ діаметром 3, 4 та 5 мм.

Регульованими параметрами під час зварювання були: струм зварювання *Ізв*,; час вмикання струму *Тзв.*; зусилля стискання між електродами *Рзв*.

Контрольованими параметрами були:

- сумарна висота $H_{\sum}$ - в усіх дослідах;
- границя міцності на відрив – для зварних з'єднань дротів діаметром 3 мм;
- кут руйнування на скручування α – для зварних з'єднань дротів діаметром 4 мм та 5 мм;
- відсоток рідкої фази у з'єднанні – співвідношення розмірів зон з'єднання, які утворились за рахунок процесів кристалізації та за рахунок пластичної деформації у твердій фазі – для зварних з'єднань дротів діаметром 4 мм та 5 мм.

Струм зварювання регулювали зміною кута вмикання тиристора. Кут відкриття програмували таким чином, щоб отримати певне задане в експерименті значення зварювального струму. Силу струму контролювали за осцилограмою, записаною протягом зварювання. Час вмикання струму задавали за допомогою регулятора циклу зварювання, в межах від 0,02 с до 0,08 с (1 – 4 періоди мережі живлення). Зусилля стискання між електродами встановлювалось за допомогою редуктора і контролювались манометром ОБМІ – 160 згідно з таблицею на машині з точністю 40 Н.

Сумарну висоту $H_{\sum}$ визначали за допомогою мікрометра з точністю вимірювання 0,005 мм в місці утворення зварного з'єднання. Вимірювання проводилося в перпендикулярній площині до осі дроту (рис. 2.1).

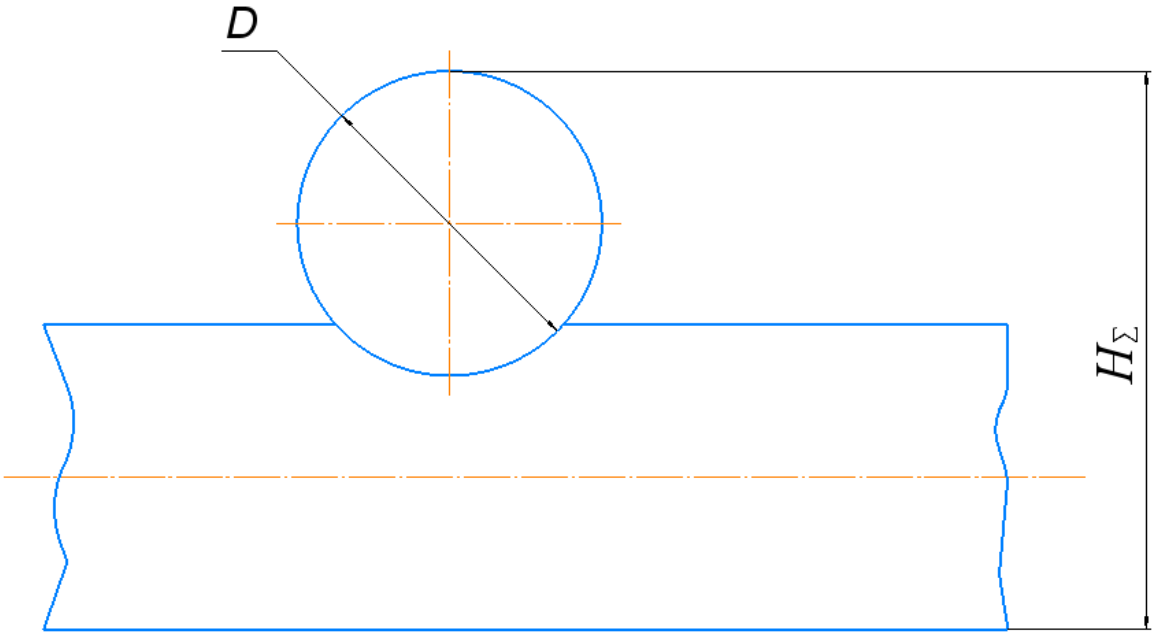


Рисунок. 2.1 – Схема вимірювання сумарної висоти H_Σ

Діаметри зруйнованого зварного з'єднання оцінювали при збільшенні в 20 разів в поперечному та поздовжньому перетині дроту по середині зварної точки. В розрахунках приймали усереднене значення діаметра, яке підраховували по формулі:

$$Dcp = \frac{D\text{пр} + D\text{поп}}{2} \qquad (2.1)$$

де $D_{ср}$ – усереднене значення діаметра;

$D_{пр}$ – діаметр в поздовжньому вимірюванні;

$D_{поп}$ – діаметр в поперечному вимірюванні.

2.2 Експериментальна установка

Зварювання виконували на модернізованій машині МТ 1215 У4 (КЗЕСО), обладнаній регулятором циклу зварювання (рис. 2.2). Основні технічні характеристики машини подано в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні технічні характеристики установки МТ-1215 [19]

Найменування параметру	Величина параметру
Номінальна первинна напруга мережі живлення однофазного змінного струму, В	380
Номінальна частота мережі живлення, Гц	50
Найбільший вторинний струм, кА	15±2,2
Найбільша потужність при короткому замиканні, кВА, не більше	120
Регулювання зварювального струму	Комбіноване
Корисний виліт машини, мм	500
Межі товщин металу, що зварюється (маловуглецева сталь), мм	(0,5+0,5) - (5,0+5,0)
Опір вторинного контуру машини постійному струму, Ом, не більше	$5,6 *10^{-6}$
Найбільша короткочасна продуктивність при зварюванні деталей із маловуглецевої сталі товщиною 0,5+0,5 мм точ./хв., не менше	300
Витрати стисненого повітря, при ході електроду 5 мм, і продуктивності до 230 точ./хв., кг/год., не більше	15
Витрати охолоджуючої води при роботі на номінальному режимі, л/год., не більше	400
Маса машини, кг, не більше	410

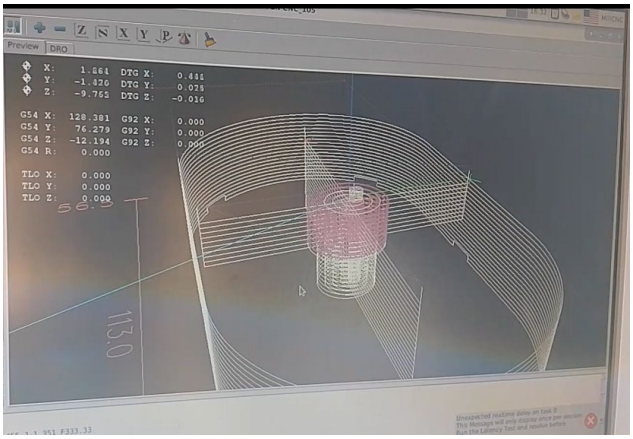
Під час процесу зварювання значення струму фіксувались датчиком (розробка кафедри електрозварювальних установок КПІ ім. Ігоря Сікорського) і передавались через АЦП E-140 (L-CARD) до персонального комп'ютера, де вони записувались за допомогою програми L-graph у файл, а потім оброблялись у середовищі MatCAD, аналогічно роботі [20].

Рисунок 2.2 – Експериментальна установка на базі машини контактного точкового зварювання МТ 1215

Перед підготовкою модифікованої машини МТ 1215 У4 для точкового зварювання підготовлювали зварювальні зразки, а саме дріт різали на мірні частини, з розрахунком по 2 таких деталі на одне зварювання.

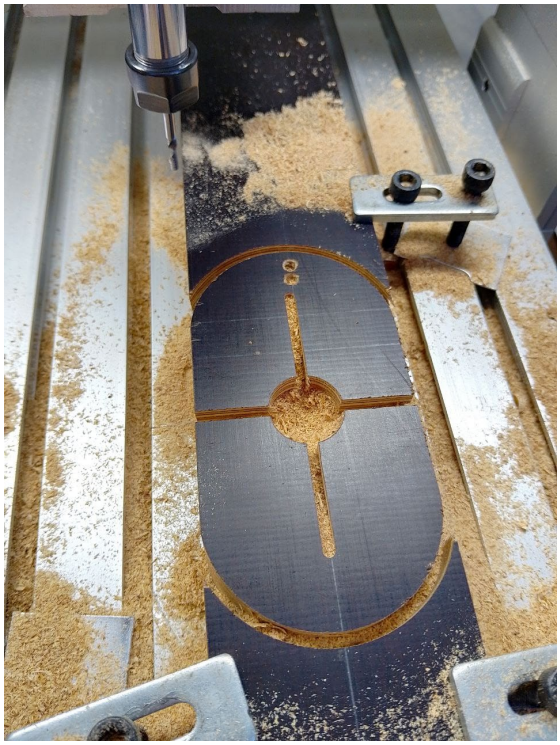
Зразки із дроту діаметром 3 мм перед зварюванням вигнули по сторонам під кут приблизно 65°. Це зроблено для того, щоб у подальшому встановити ці зразки будуть в затискачах розривної машини для визначення міцності на відрив.

Для фіксації деталей зі згинами у правильному положенні було розроблено і виготовлено на верстаті ЧПУ спеціальний кондуктор (рис. 2.3).

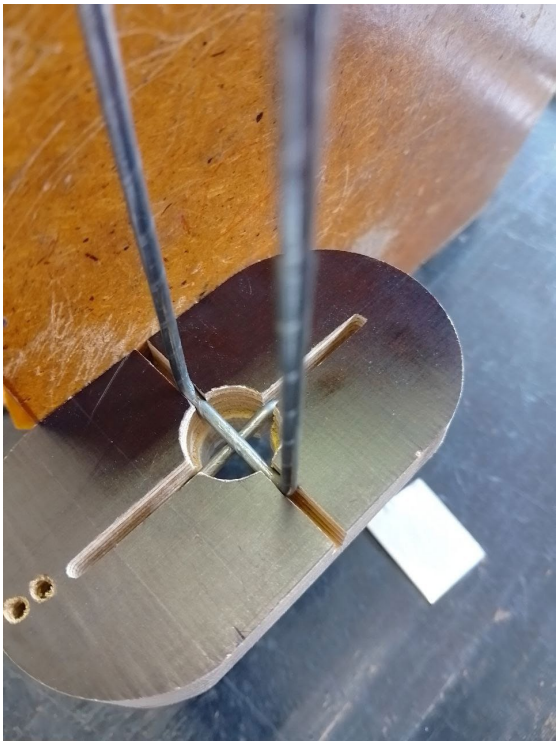


а

б



в



г

Рисунок 2.3 – Спеціалізований кондуктор: а – 3D модель;, б – процес виготовлення; в – зовнішній вигляд; г – те саме, із встановленими деталями

2.3 Постановка експерименту

На протікання процесу контактного зварювання може впливати цілий ряд випадкових процесів: коливання напруги мережі живлення, температура контуру, внесення індуктивності в контур машини, наявність окисних плівок в зоні з'єднання, відсутність механічних пошкоджень та інші. Всі ці процеси мають імовірнісний характер. Для аналізу таких процесів доцільно використовувати статистичні методи обробки експериментальних даних.

Для ефективного аналізу механізму явищ, що відбуваються в об'єкті, та керування об'єктом необхідно виявити взаємозв'язок факторів, які визначають напрямок протікання процесу, та уявити їх в кількісній формі у вигляді математичної моделі. Така модель с математичним відображенням найважливіших сторін процесу. Вона являється сукупністю відношень, які визначають характеристики стану об'єкту залежно від параметрів об'єкта, умов та часу. Модель дозволяє отримати інформацію про процеси, які відбуваються в об'єкті, розрахувати характеристики об'єкту, отримати інформацію, яку можна використовувати для керування об'єктом моделювання.

Процес утворення зварного з'єднання залежить від багатьох одночасно впливаючих факторів. Визначення впливу тільки одного фактору обмежує дослідника у визначенні одночасного взаємного впливу декількох факторів. Оцінку впливу одночасно діючих кількох факторів дозволяє зробити повний факторний експеримент [7].

Факторний експеримент пов'язаний зі зміною одночасно всіх факторів та перевіркою правильності результатів математико- статистичними методами. Фактори в експерименті можливо змінювати на нескінченній множині рівнів. При підготовці та приведенні повного факторного експерименту використовувалась загальна методика, що викладена Ю.П. Адлером [21].

Математичні моделі, що використовували, мали загальний вигляд:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \cdots + b_N \cdot x_N \qquad (2.2)$$

$$y = exp[b_0 + b_1 \cdot ln(x_1) + b_2 \cdot ln(x_2) + \cdots + b_N \cdot ln(x_N)] \quad (2.3)$$

де y – параметр оптимізації,

b_i – коефіцієнт моделі,

x_i – фактор.

Метою проведення математичного моделювання є визначення невідомих коефіцієнтів статичної математичної моделі [16].

Як параметр оптимізації для дротів діаметром 3, 4 та 5 мм було вибрано сумарну висоту $H_{\sum}$. Умови вибору параметру оптимізації (визначеність, можливість вимірювання і т.ін.) виконуються. Як параметр оптимізації в експериментах із дротами діаметром 4 та 5 мм було вибрано кут с взаємного скручування двох з'єднаних дротів в площині утвореного ними зразка, при якому починалося його руйнування, який відповідає наведеним вище умовам. Як параметр оптимізації в експериментах із дротами діаметром 3 мм було обрано значення граничної міцності на відрив.

Після того як вибрано об'єкт дослідження і параметри оптимізації потрібно прийняти до уваги всі існуючі фактори, які можуть мати значний вплив на об'єкт, що досліджується. Фактори можуть визначати сам об'єкт дослідження або його стан.

У всіх проведених експериментах факторами були: зварювальний струм – $I_{зв}$ час зварювання – $T_{зв}$, зусилля стискання між електродами – $P_{зв}$.

Указані параметри є складовими формули, якою при контактному точковому зварюванні описують процеси виділення теплоти, тобто закону Джоуля-Ленца [2]:

$$Q = I_{зв}^2 \cdot R \cdot T_{зв}, \quad (2.4)$$

де Q – кількість теплоти, що виділяється в зоні зварювання;

R – опір зони зварювання.

Відомо [2], що опір зони зварювання залежить від сили стискання електродів. Тому повний факторний експеримент в нашому випадку має три фактори, які найбільше впливають на якість зварного з'єднання: струм зварювання *Ізв*, час протікання зварювального струму *Тзв* та зусилля стискання між електродами *Рзв*, тобто його потрібно провести за схемою 2^3. Матриця планування експерименту 2^3 за допомогою якої проводились всі експерименти наведена в таблиці 2.2. При обробці даних було зроблено припущення, що указані параметри є незалежними один від одного.

Таблиця 2.2 – Матриця експериментів

Параметр	Значення		
	-1	0	+1
Час імпульсу Тзв, с			
Сила стискання Рзв, Н			
Сила струму Ізв, А			

Для перевірки надійності результатів проводилося по три паралельні досліди при однакових умовах. Після отримання експериментальних значень перевіряли дисперсію параметра оптимізації. Для перевірки підраховували дисперсію кожного проведеного досліду за формулою:

$$s_i := \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n} \left(\text{уексп}_{i_j} - \text{уср}_i\right)}{n-1}} \qquad (2.5)$$

де s_i – дисперсія кожного досліду,

$\text{уексп}_{i.j}$ – експериментальне значення вихідного параметру для кожного досліду,

уср_i – середнє значення вихідного параметру для кожного досліду,

n – кількість повторних дослідів,

і – номер досліду.

Звичайно дисперсії кожного досліду мають різні значення. Для перевірки однорідності дисперсій використовували критерій Кохрена. Для цього знаходили максимальну дисперсію, а потім експериментальний критерій Кохрена за формулою:

$$G := \frac{\left(s_{max}\right)^2}{\sum_{i=1}^{N} \left(s_i\right)^2} \qquad (2.6)$$

де N – кількість дослідів.

Підрахований критерій Кохрена порівнювався з табличним значенням для 5% рівня значимості при восьми незалежних оцінках дисперсії, кожна з яких має n-1 степінь свободи. При $G > G_{табл}$ робимо висновок, що дисперсія однорідності підтверджується і ми можемо усереднювати дисперсії за формулою

$$s_y := \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{n} \left(\text{уексп}_{i,j} - \text{уср}_i\right)^2}{N \cdot (n-1)}} \qquad (2.7)$$

де s_y – дисперсія відтворення.

Коефіцієнти моделей розраховували за допомогою вбудованих функцій MatCAD із довірчим інтервалом 5%.

Результати вихідного параметру отримані експериментальним шляхом та за допомогою моделі порівнювали графічно та за допомогою нев'язок – різниць між експериментальним значенням вихідного параметру та розрахованим. Нев'язка з'являється з двох причин:

1) похибка досліду,

2) хибність моделі.

Ці причини зв'язані між собою і ми не можемо відразу визначити, не отримавши додаткової інформації, яка з них має більший вплив.

За величинами коефіцієнтів можна робити висновки про вплив вхідних параметрів на параметр оптимізації (коефіцієнт, модуль значення якого більший, матиме більший вплив). Якщо коефіцієнт має від'ємне значення то збільшення цього параметру призводить до зменшення параметру оптимізації.

2.4 Формування вимог до оцінювання якості зварних з’єднань

З урахуванням загальних підходів до формулювання вимог до оцінювання якості зварних з’єднань [22], виведено такі основні вимоги для хрестоподібних з’єднань тонких дротів, які зокрема входять до складу конструкцій декоративного призначення [23,24].

1. Вимога до фазового складу з’єднання: частково має бути сформоване в рідкій фазі.

2. Наявність або відсутність вм’ятини на зовнішній поверхні деталей (для виробів декоративного призначення не допускається, для інших типів конструкцій – згідно вимог чинних стандартів та технічного завдання).

3. Відсутність вибризкувань. Вибризкування недопустимі для виробів будь-якого призначення, зокрема через небезпеку посилення процесів корозії. Візуально може бути оцінена за наявністю бризок під час зварювання або за напливами, які утворюються на границі розподілу між деталями.

4. Відсутність слідів масоперенесення міді з електродів на деталі. Сліди масоперенесення не допускаються для виробів будь-якого призначення, зокрема через небезпеку посилення процесів корозії. Візуально може бути оцінена за наявністю плям характерного жовтуватого кольору в місцях притискання електродів.

Висновки за розділом 2

1. На основі аналізу впливу параметрів режиму контактного точкового зварювання на нагрівання деталей, встановлено, що інформативними параметрами для оцінки ходу процесу є сила зварювального струму, сила стискання електродів та час протікання струму.

2. Розроблена експериментальна установка та система вимірювання і реєстрації даних дозволяють вирішувати задачі вимірювання та реєстрації в режимі реального часу миттєвих значень зварювального струму.

3. Для оцінювання якості зварних з’єднань та перевірки точності розроблених моделей доцільно використати такі методи випробування зразків: візуальний контроль наявності вм’ятин, вибризкувань та слідів масоперенесення, руйнівні випробування із визначенням границі міцності на відрив та кута руйнування на зрів, вимірювання сумарної висоти у місці з’єднання.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ХРЕСТОПОДІБНИХ З'ЄДНАНЬ ДРОТІВ, ВИКОНАНИХ КОНТАКТНИМ ТОЧКОВИМ ЗВАРЮВАННЯМ

3.1 Дослідження характеристик з’єднань дротів діаметром 3 мм

Розробка матриці експерименту

У ході експериментів виконано зварювання хрестоподібних з’єднань дротів діаметром 3 мм.

Фіксовані параметри режиму зварювання:

- час попереднього стискання – 0,5 с;

- час проковки – 0,5 с.

Циклограма зварювання — з постійним зусиллям та з одним імпульсом струму.

Змінні параметри:

- струм зварювання;

- час імпульсу струму;

- сила стискання.

Прийнято припущення, що струм не залежить від сили стискання, тому у ході обробки даних указані параметри вважали незалежними змінними.

Крок зміни значень параметрів режиму між низьким і нульовим та між нульовим та високим значеннями обирали, виходячи із таких передумов [25]:

- значення струму між рівнями повинні відрізнятись більше ніж на 10%;

- значення зусилля стискання між рівнями повинні відрізнятись більше ніж на 10%.

З урахуванням того, що час імпульсу струму в контактних машинах задають дискретно із кроком в 0.02 с, отримали таку матрицю експерименту для дротів діаметром 3 мм (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Матриця експериментів для дротів діаметром 3 мм

Параметр	Значення		
	-1	0	+1
Час імпульсу Тзв, с	0.04	0.06	0.08
Сила стискання Рзв, Н	1000	1700	2300
Сила струму Ізв, А	2000	3000	4000

Оцінювання якості зварних з'єднань

Для оцінювання якості зварних з'єднань провели такі випробування:

- вимірювання сумарної висоти у місці з'єднання;

- визначення зусилля руйнування на відрив на розривній машині 2054 Р-5 згідно методики ДСТУ EN ISO 14270:2022.

Результати експериментів для з'єднань дротів діаметром 3 мм, усереднені за трьома дослідами, наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати експериментів для дротів діаметром 3 мм

№ режиму	Час зварювання Тзв, с	Сила стискання Рзв, Н	Сила струму, $I_{зв}$, А	Сумарна висота зразків, $H_{\sum}$, мм	Зусилля руйнування на відрив, Н
1	0,04	1000	2000	5,7	1280
2	0,04	1000	3000	5,1	1690
3	0,04	1000	4000	5,3	1150
4	0,04	1700	2000	5,15	1120
5	0,04	1700	3000	5,4	1170
6	0,04	1700	4000	4,6	1750
7	**0,04**	**2300**	**2000**	**невдалий**	**невдалий**
8	0,04	2300	3000	5,25	1080
9	0,04	2300	4000	4,3	1800
10	0,06	1000	2000	5,7	1430
11	0,06	1000	3000	4,6	1570
12	0,06	1000	4000	4,12	1910
13	0,06	1700	2000	5,6	250
14	0,06	1700	3000	4,8	1940
15	0,06	1700	4000	3,35	2230
16	0,06	2300	2000	5,5	1150
17	0,06	2300	3000	3,5	1580

Продовження таблиці 3.2

№ режиму	Час зварювання Тзв, с	Сила стискання Рзв, Н	Сила струму, Ізв, А	Сумарна висота зразків, Н∑, мм	Зусилля руйнування на відрив, Н
18	0,06	2300	4000	3,27	1410
19	**0,08**	**1000**	**2000**	**5,6**	**невдалий**
20	0,08	1000	3000	5,1	1690
21	0,08	1000	4000	3,25	2280
22	0,08	1700	2000	5,5	960
23	0,08	1700	3000	4,15	1970
24	0,08	1700	4000	3,5	2800
25	0,08	2300	2000	5,5	1100
26	0,08	2300	3000	4	1890
27	0,08	2300	4000	3,26	2150

З урахуванням того, що у досліді 7 з'єднання не утворилось, цей дослід було виключено із подальшого аналізу геометричних та механічних характеристик.

З урахуванням того, що з'єднання, отримане у досліді 19, зруйнувались під час встановлення у затискачах розривної машини, даний дослід було виключено із подальшого аналізу механічних характеристик. Однак, слід зазначити, що таке з'єднання цілком здатне виконувати декоративну функцію, тому при аналізі геометричних характеристик дослід брали до уваги.

Визначення залежності механічних характеристик від геометрії з'єднання

За результатами вимірювання сумарної висоти та випробувань на розривній машині побудовано залежність зусилля руйнування від сумарної висоти незалежно від комбінації параметрів режиму (рис. 3.1).

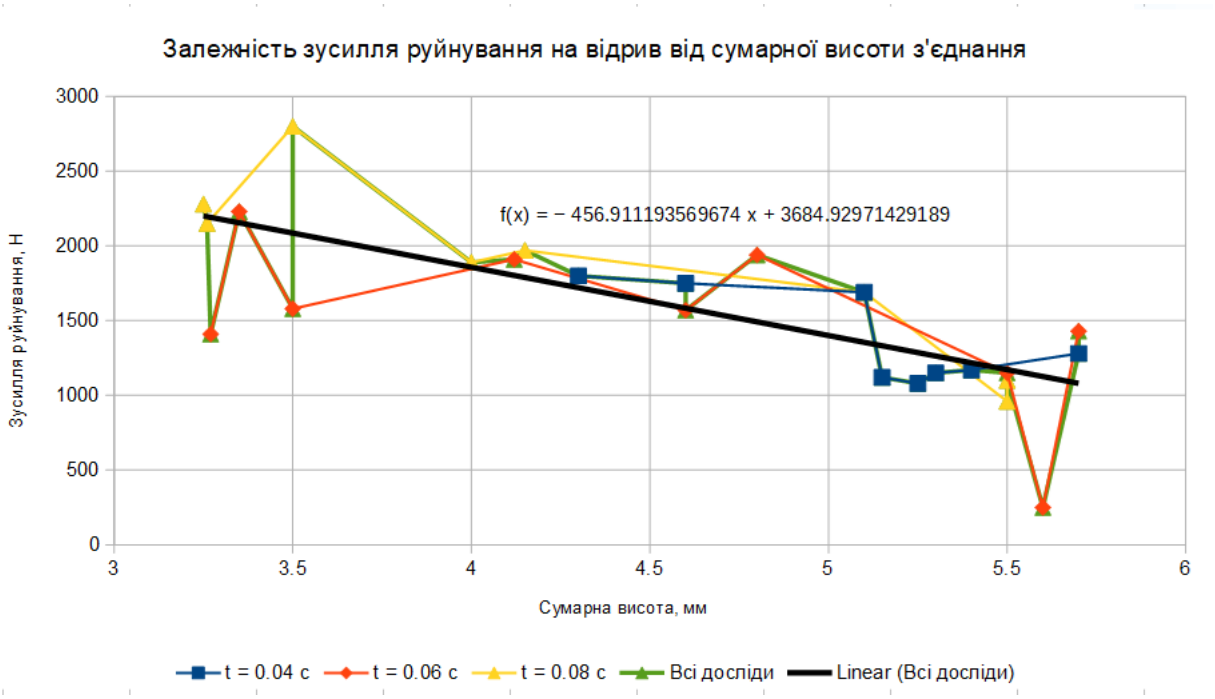


Рисунок 3.1 – Залежність зусилля руйнування на відрив від сумарної висоти зварних з’єднань дротів діаметром 3 мм

Встановлено, що загалом залежність має лінійну форму, однак слід зазначити, що у крайніх випадках, а саме: сумарна товщина більша за 5,2 мм — тобто пластична деформація мінімальна, та сумарна товщина менша за 4 мм — тобто дроти продеформовані на половину діаметра — відмічено суттєві коливання механічної характеристики. Це пов`язано, зокрема, з тим, що у таких випадках руйнування відбувається не по зварному з’єднанню, а в зоні термо-механічного впливу або по основному металу.

З’єднання із сумарною висотою більшою за 5,2 мм можна вважати чисто декоративними, для таких з’єднань визначення механічних характеристик не має сенсу.

Загалом можна зробити висновок, що в діапазоні величин сумарної висоти 4 — 5,2 мм залежність між розривним зусиллям та сумарною висотою є лінійною, тому сумарну висоту можна вважати фактором, адекватним для прогнозування якості зварного з’єднання.

Висновок має важливе значення для застосування у виробничих умовах, оскільки вимірювання сумарної висоти можна провести за допомогою простих приладів одразу після зварювання без додаткової обробки з’єднання. Окрім того, не потрібні зразки специфічної форми, а власне вимірювання може виконати оператор установки. У разі вимоги до визначення саме розривного зусилля необхідне виготовлення окремих зразків (через те, що випробування руйнівне) та наявність сертифікованого обладнання.

Моделювання характеристик зварних з’єднань дротів діаметром 3 мм

Для визначення розрахункової залежності сумарної висоти з’єднання від параметрів режиму зварювання (час, струм, сила стискання) побудовано регресійні моделі — лінійна та експоненційна (формули 2.2 і 2.3 відповідно). Лінійна модель має найпростішу для обчислень формулу, а експоненційну модель обрали для досліджень, оскільки багато фізичних явищ описуються саме експоненційною залежністю. Моделі мають такий вигляд:

$$y = 8.84806 - 19.05888 \cdot \mathrm{T_{зв}} - 0.00034 \cdot \mathrm{P_{зв}} - 0.00082 \cdot \mathrm{I_{зв}} \qquad (3.1)$$

$$y = exp\begin{bmatrix} 5.86112 - 0.27084 \cdot ln(\mathrm{T_{зв}}) - 0.11873 \cdot ln(\mathrm{P_{зв}}) - \\ -0.53113 \cdot ln(\mathrm{I_{зв}}) \end{bmatrix} \qquad (3.2)$$

При цьому значення параметрів слід підставляти в одиницях, указаних в таблиці 3.1. Обчислене значення сумарної висоти буде в мм.

Результати розрахунків сумарної висоти наведені в таблиці 3.3 та на рис.3.2. Коефіцієнти кореляції становлять 0,8 для лінійної моделі та 0,79 – для експоненційної.

Таблиця 3.3 – Результати роботи лінійної та експоненційної моделей для з’єднань дротів діаметром 3 мм

Час зварювання Тзв, с	Сила стискання Рзв, Н	Сила струму, $I_{зв}$, А	Розрахункова сумарна висота – лінійна модель	Розрахункова сумарна висота – експоненційна модель	Виміряна сумарна висота зразків, H∑, мм
0,04	1000	2000	**6,11**	**6,53**	5,7
0,04	1000	3000	5,29	5,26	5,1
0,04	1000	4000	4,48	4,52	5,3
0,04	1700	2000	5,87	6,13	5,15
0,04	1700	3000	5,06	4,94	5,4
0,04	1700	4000	4,24	4,24	4,6
0,04	2300	3000	4,85	4,77	5,25
0,04	2300	4000	4,03	4,09	4,3
0,06	1000	2000	5,73	5,85	5,7
0,06	1000	3000	4,91	4,71	4,6
0,06	1000	4000	4,09	4,05	4,12
0,06	1700	2000	5,49	5,49	5,6
0,06	1700	3000	4,67	4,43	4,8
0,06	1700	4000	3,86	3,80	3,35
0,06	2300	2000	5,29	5,30	5,5
0,06	2300	3000	4,47	4,27	3,5
0,06	2300	4000	3,65	3,66	3,27
0,08	1000	3000	4,53	4,36	5,1
0,08	1000	4000	3,71	3,74	3,25
0,08	1700	2000	5,11	5,08	5,5
0,08	1700	3000	4,29	4,09	4,15
0,08	1700	4000	3,48	3,51	3,5
0,08	2300	2000	4,91	4,90	5,5
0,08	2300	3000	4,09	3,95	4,00
0,08	2300	4000	3,27	3,39	3,26

Встановлено, що обидві моделі некоректно обчислюють значення висоти при її величині, близької до максимального (6 мм). Середнє значення відносної похибки обчислень становить 8 % для обох моделей.

Коефіцієнти кореляції та середні похибки обох моделей близькі за значенням, тому для подальших обчислень доцільно використовувати лінійну модель.

Рисунок 3.2 – Результати роботи лінійної та експоненційної моделей для з’єднань дротів діаметром 3 мм

3.2 Дослідження характеристик з’єднань дротів діаметром 4 мм і 5 мм

Аналогічно п. 3.1 було розроблено матриці експериментів (таблиці 3.4 та 3.5) для з’єднань дротів діаметром 4 і 5 мм.

Таблиця 3.4 – Матриця експериментів для дротів діаметром 4 мм

Параметр	Значення		
	-1	0	+1
Час імпульсу Тзв, с	0.04	0.06	0.08
Сила стискання Рзв, Н	1000	1700	2300
Сила струму Ізв, А	3500	5500	7500

Таблиця 3.5 – Матриця експериментів для дротів діаметром 5 мм

Параметр	Значення		
	-1	0	+1
Час імпульсу Тзв, с	0.04	0.06	0.08
Сила стискання Рзв, Н	1000	1700	2300
Сила струму Ізв, А	4000	5500	7000

Оцінювання якості зварних з'єднань

Оскільки в експериментальних дослідженнях для дротів діаметром 3 мм показано, що сумарна висота з'єднання пропорційна механічним характеристикам з'єднання, в якості критерія оцінювання для з'єднань дротів діаметром 4 мм та 5 мм доцільно обрати сумарну висоту.

Слід зазначити, що сумарна висота з'єднання є параметром, який можливо легко виміряти у виробничих умовах, при цьому таке вимірювання не потребує складного обладнання та може бути здійснене робітничим персоналом відносно невисокого рівня кваліфікації, зокрема немає необхідності у залученні сертифікованих фахівців із контролю якості. Результати експериментів із вимірюванням сумарної висоти з'єднання, усереднені за трьома дослідами, для дротів діаметром 4 мм і 5 мм наведені в таблицях 3.6 та 3.7 відповідно.

Таблиця 3.6 – Результати експериментів для дротів діаметром 4 мм

№ режиму	Час зварювання Тзв, с	Сила стискання Рзв, Н	Сила струму, $I_{зв}$, А	Сумарна висота зразків, $H_{\sum}$, мм
1	**0,04**	**1000**	**3500**	**невдалий**
2	0,04	1000	5500	6,8
3	0,04	1000	7500	7
4	0,04	1700	3500	6,8
5	0,04	1700	5500	7,2
6	0,04	1700	7500	6
7	**0,04**	**2300**	**3500**	**невдалий**

Продовження таблиці 3.6

№ режиму	Час зварювання Тзв, с	Сила стискання Рзв, Н	Сила струму, Ізв, А	Сумарна висота зразків, Н∑, мм
8	0,04	2300	5500	7
9	0,04	2300	7500	5,7
10	0,06	1000	3500	7,6
11	0,06	1000	5500	6,2
12	0,06	1000	7500	5,3
13	0,06	1700	3500	7,5
14	0,06	1700	5500	6,4
15	0,06	1700	7500	4,2
16	0,06	2300	3500	7,2
17	0,06	2300	5500	4,8
18	0,06	2300	7500	4,3
19	**0,08**	**1000**	**3500**	**невдалий**
20	0,08	1000	5500	6,8
21	0,08	1000	7500	4,3
22	0,08	1700	3500	**7,4**
23	0,08	1700	5500	5,7
24	0,08	1700	7500	4,7
25	0,08	2300	3500	7,5
26	0,08	2300	5500	5,2
27	0,08	2300	7500	4,2

Таблиця 3.7 – Результати експериментів для дротів діаметром 5 мм

№ режиму	Час зварювання Тзв, с	Сила стискання Рзв, Н	Сила струму, $I_{зв}$, А	Сумарна висота зразків, $H_{\sum}$, мм
1	0,04	1000	4000	9,3
2	0,04	1000	5500	8,5
3	0,04	1000	7000	8,9
4	0,04	1700	4000	8,4
5	0,04	1700	5500	9
6	0,04	1700	7000	7,5
7	**0,04**	**2300**	**4000**	**невдалий**
8	0,04	2300	5500	8,8
9	0,04	2300	7000	7,2
10	0,06	1000	4000	9,5
11	0,06	1000	5500	7,6
12	0,06	1000	7000	6,7
13	0,06	1700	4000	9
14	0,06	1700	5500	8
15	0,06	1700	7000	5,6

Продовження таблиці 3.7

№ режиму	Час зварювання Тзв, с	Сила стискання Рзв, Н	Сила струму, Ізв, А	Сумарна висота зразків, Н∑, мм
16	0,06	2300	4000	9
17	0,06	2300	5500	5,8
18	0,06	2300	7000	5,4
19	0,08	1000	4000	9,4
20	0,08	1000	5500	8,5
21	**0,08**	**1000**	**7000**	**невдалий**
22	0,08	1700	4000	9,2
23	0,08	1700	5500	7
24	0,08	1700	7000	5,8
25	0,08	2300	4000	9,4
26	0,08	2300	5500	6,6
27	**0,08**	**2300**	**7000**	**невдалий**

Для додаткового підтвердження правильності вибору сумарної висоти в якості основного показника механічної міцності з’єднань, для з’єднань дротів діаметром 4 та 5 мм провели такі випробування:

1) на зруйнованих скручуванням зварних з’єднаннях визначали відсоток рідкої фази, яка брала участь у формуванні з’єднання — на фото із 20-кратним збільшенням за характером руйнування окремих зон з’єднання

2) при руйнуванні скручуванням зварних з’єднань в лещатах за допомогою транспортира визначали кут, при якому відбувалось руйнування

Процес зварювання характеризується дуже малим часом зварювання при високих зварювальних струмах (щільностях струму) та зусиллях стискання, які забезпечують локальне розплавлення металу [2]. Необхідною умовою формування з'єднання є утворення загальної зони розплавлення заданих розмірів. Утворення зварного з'єднання проходить по схемі, яка складається з трьох етапів.

Перший етап починається з моменту стиснення стержнів, який викликає пластичну деформацію мікронерівностей в контактах електрод-–деталь та деталь–деталь. Формується початкова площа контакту. Так як вминаються два циліндри, то площина їх перетину утворює гіперболічний параболоїд (сідло).

Наступне вмикання зварювального струму та нагрів металу полегшує вирівнювання мікрорельєфу, руйнування поверхневих плівок та формування електричного контакту.

Другий етап формування характеризується розплавленням металу в зоні формування зварного з'єднання. В початковий момент щільність струму така, що в зоні контакту виникає критична температура і починається плавлення металу. По мірі проходження струму прошарок рідкого металу росте. При цьому відбувається перемішування рідкого прошарку металу, видалення поверхневих окисних плівок та формування металічних зв’язків в рідкій фазі. З часом зварювання збільшується площа контакту внаслідок нагрівання та пластичної деформації стержнів, тому щільність струму, яка протікає через з'єднання, зменшується. Її вже не достатньо для підтримання процесу плавлення, в тільки для нагрівання. Формуються дві характерні для зварного хрестоподібного з'єднання зони: зона присутності твердої фази та зона рідкої фази (рис. 3.3). Продовжується процес пластичної деформації та теплове розширення металу. Під дією зусилля стискання рідка фаза витісняється з зони формування зварного з'єднання, яка потім утворює поясок (наплив). Ширина зони рідкої фази в якісному зварному з'єднанні різко зменшується зі збільшенням основних параметрів процесу зварювання. В залежності від їх значень можливі такі випадки: зварне з'єднання утворене повністю в рідкій фазі (рис. 3.3, 2), повністю в твердій фазі (рис. 3.3, 1) та в рідко – твердій фазі (рис. 3.3, 2-1).

При малих зусиллях стискання та часі протікання зварювального струму рідка фаза може не видалитися із з'єднання і отримуємо картину протилежну зображеній на рис. 3.3. Таке з'єднання має високі декоративні властивості і достатню механічну міцність.

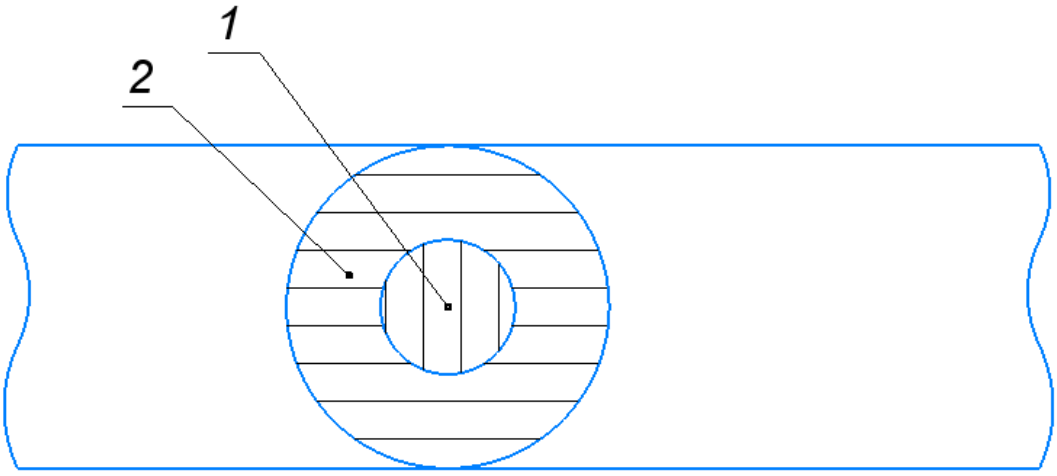


Рисунок 3.3 – Характерні зони зруйнованого з'єднання: 1 – тверда фаза 2 – рідка фаза

Третій етап починається з вимкненням струму, супроводжується охолодженням та кристалізацією металу. З'являється спільне для двох стержнів лите ядро. При охолодженні зменшується об'єм металу і виникають залишкові деформації. Для їх зменшення використовують кувальні зусилля [14,15,28].

Отримані експериментально залежності сумарної висоти з’єднання та кута руйнування на скручування від відсотка рідкої фази наведені на рис. 3.4 та 3.5 відповідно.

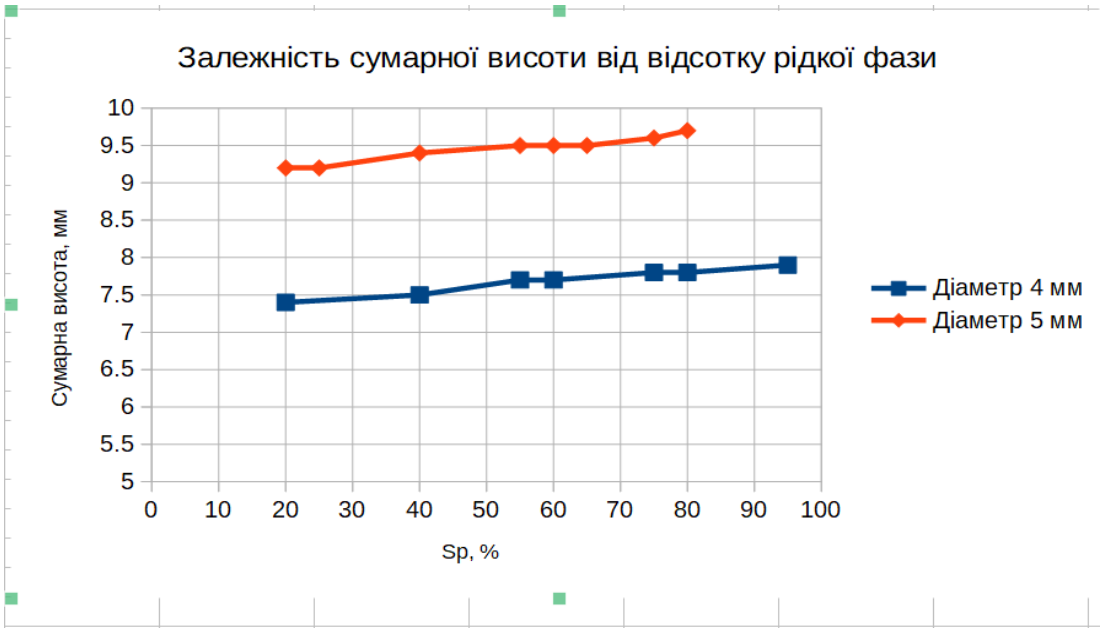


Рисунок 3.4 – Залежність сумарної висоти з’єднань дротів діаметром 4 і 5 мм від відсотку рідкої фази

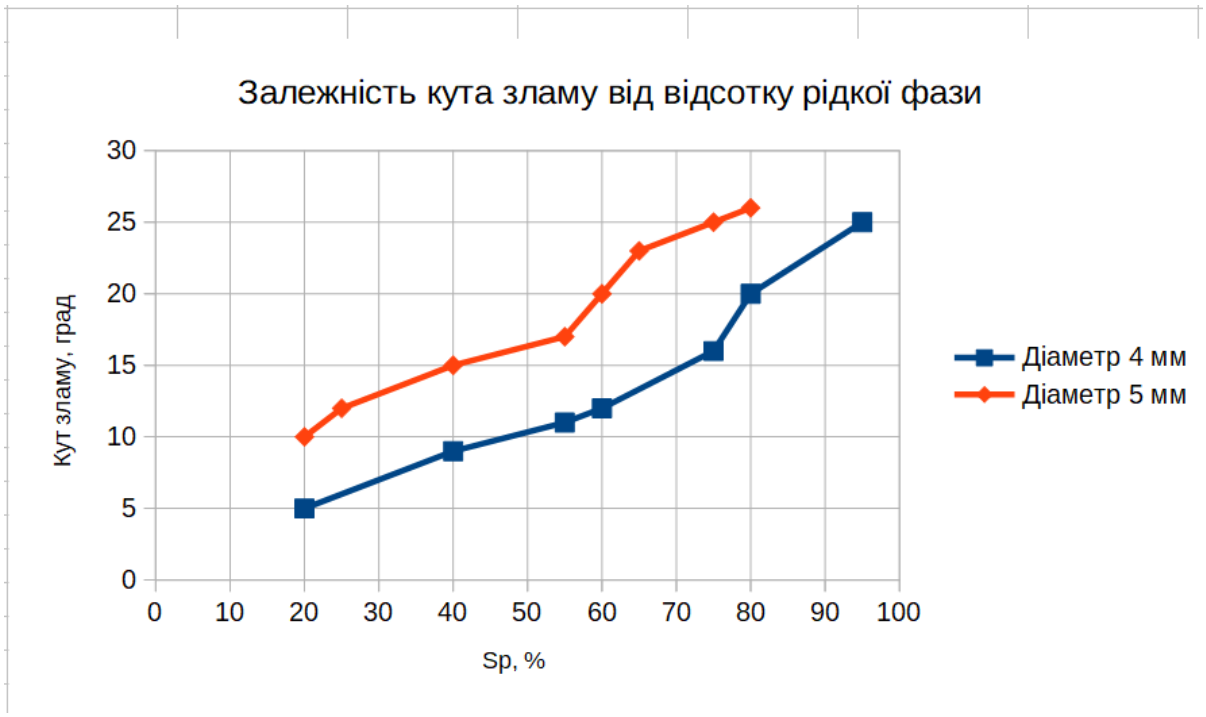


Рисунок 3.5 – Залежність кута зламу на скручування з’єднань дротів діаметром 4 і 5 мм від відсотку рідкої фази

Залежності (рис. 3.4 та 3.5) дають можливість зробити висновок про взаємозв’язок кількості рідкої фази на стадії нагрівання, кутом зламу (механічна характеристика) та сумарною висотою, взаємозв’язок між якою із зусиллям руйнування доведено експериментально для з’єднань дротів діаметром 3 мм.

Досліди показали, що характерним є наявність у зоні зварювання двох характерних ділянок із з'єднанням у твердій та в рідкій фазі (рис. 3.3). Причому відносна площа поверхонь в якій з'єднання здійснюється в рідкій фазі Sp залежить від параметрів режиму та визначає як декоративну якість з'єднання (рис. 3.4.) так і характеристику міцності з'єднання (рис. 3.5).

Наявність рідкої фази в зварному з'єднанні забезпечує його в'язке руйнування та необхідну міцність для декоративного з'єднання. При збільшенні відсотку рідкої фази в зварному з'єднанні покращується якість та підвищуються механічні властивості зразка. Зі зменшенням відсотку рідкої фази в з'єднанні зменшується $H_{\sum}$ та погіршується зовнішній вигляд зварного з'єднання. Коливання в межах від 100% до 78% значного погіршення якості не викликають, але механічні властивості знижуються. При зменшенні рідкої фази до 60% різко падають механічні властивості з'єднання та погіршується якість, зменшується $H_{\sum}$.

Моделювання характеристик зварних з’єднань дротів діаметром 4 та 5 мм

Для визначення розрахункової залежності сумарної висоти з’єднання від параметрів режиму зварювання (час, струм, сила стискання) побудовано лінійні регресійні моделі (формули 3.3 і 3.4 для з’єднань дротів діаметром 4 мм і 5 мм відповідно).

$$y = 11.98901 - 26.10149 \cdot \mathrm{T_{зв}} - 0.00052 \cdot \mathrm{P_{зв}} - 0.0006 \cdot \mathrm{I_{зв}} \qquad (3.3)$$

$$y = 15.13061 - 24.23062 \cdot \mathrm{T_{зв}} - 0.00068 \cdot \mathrm{P_{зв}} - 0.00086 \cdot \mathrm{I_{зв}} \qquad (3.4)$$

Результати роботи моделей для з’єднань дротів діаметром 4 мм і 5 мм наведені в таблицях 3.8 та 3.9 відповідно.

Таблиця 3.8 – Результати роботи лінійної моделі для з’єднань дротів діаметром 4 мм

Час зварювання Тзв, с	Сила стискання Рзв, Н	Сила струму, $I_{зв}$, А	Розрахункова сумарна висота – лінійна модель	Сумарна висота зразків, Н∑, мм
0,04	1000	5500	7,13	6,8
0,04	1000	7500	5,93	7
0,04	1700	3500	7,96	6,8
0,04	1700	5500	6,77	7,2
0,04	1700	7500	5,57	6
0,04	2300	5500	6,45	7
0,04	2300	7500	5,26	5,7
0,06	1000	3500	7,81	7,6
0,06	1000	5500	6,61	6,2
0,06	1000	7500	5,41	5,3
0,06	1700	3500	7,44	7,5
0,06	1700	5500	6,24	6,4
0,06	1700	7500	5,05	4,2
0,06	2300	3500	7,13	7,2
0,06	2300	5500	5,93	4,8
0,06	2300	7500	4,73	4,3
0,08	1000	5500	6,09	6,8
0,08	1000	7500	4,89	4,3
0,08	1700	3500	6,92	7,4
0,08	1700	5500	5,72	5,7
0,08	1700	7500	4,52	4,7
0,08	2300	3500	6,61	7,5
0,08	2300	5500	5,41	5,2
0,08	2300	7500	4,21	4,2

Таблиця 3.9 – Результати роботи лінійної моделі для з’єднань дротів діаметром 5 мм

Час зварювання Тзв, с	Сила стискання Рзв, Н	Сила струму, $I_{зв}$, А	Розрахункова сумарна висота – лінійна модель	Сумарна висота зразків, H_{Σ}, мм
0,04	1000	4000	**10,05**	9,3
0,04	1000	5500	8,77	8,5
0,04	1000	7000	7,48	8,9
0,04	1700	4000	9,58	8,4
0,04	1700	5500	8,29	9
0,04	1700	7000	7,01	7,5
0,04	2300	5500	7,88	8,8
0,04	2300	7000	6,60	7,2
0,06	1000	4000	9,57	9,5
0,06	1000	5500	8,28	7,6
0,06	1000	7000	7,00	6,7
0,06	1700	4000	9,09	9
0,06	1700	5500	7,81	8
0,06	1700	7000	6,52	5,6
0,06	2300	4000	8,68	9
0,06	2300	5500	7,40	5,8
0,06	2300	7000	6,11	5,4
0,08	1000	4000	9,08	9,4
0,08	1000	5500	7,80	8,5
0,08	1700	4000	8,61	9,2
0,08	1700	5500	7,32	7
0,08	1700	7000	6,04	5,8
0,08	2300	4000	8,20	9,4
0,08	2300	5500	6,91	6,6

Встановлено, що модель для з’єднань дротів діаметром 5 мм некоректно обчислює значення висоти при її величині, близької до максимального (10 мм). Середнє значення відносної похибки обчислень становить 8 % для обох моделей. Коефіцієнти кореляції становлять 0,82 для 4 мм і 0,78 для 5 мм.

Висновки за розділом 3

1. Експериментально отримано масиви даних, які пов’язують геометричні (сумарна висота з’єднання) та механічні (зусилля руйнування на відрив, кут

зламу на скручування) характеристики хрестоподібних з’єднань дротів діаметром 3, 4 та 5 мм, виконаних контактним точковим зварюванням. Встановлено, що сумарна висота з’єднання є універсальним показником якості, який можна легко виміряти навіть у виробничих умовах без необхідності проведення вибіркових руйнівних випробувань.

2. Побудовано математичні моделі, які пов’язують основні параметри режиму контактного точкового зварювання із сумарною висотою з’єднань для дротів діаметром 3, 4 та 5 мм. На основі аналізу порівняння роботи лінійних та експоненційних моделей встановлено, що доцільним є використання лінійних моделей.

3. Виконано перевірку адекватності моделей. У середньому відносна похибка обчислень становить 8 %.

4 МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ КОНТАКТНОГО ТОЧКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ЗА ЗАДАНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

У розділі 3 експериментально доведено залежність між геометричними та механічними характеристиками зварних з'єднань.

Також слід взяти до уваги, що у машинах контактного точкового зварювання змінним струмом час є ВИКЛЮЧНО дискретною величиною, крок регулювання якої становить 0,02 с при частоті мережі живлення 50 Гц.

Зусилля стискання теоретично встановлюється плавно, але зазвичай його величину контролюють за показниками манометра тиску в робочій камері циліндра механізму стискання, тож можна припустити, що у регулюванні даного параметра також присутня дискретність.

З урахуванням наведеного вище розроблено наступний алгоритм визначення параметрів режиму зварювання:

1) Визначити механічну міцність з'єднання (за потреби). Даний параметр може бути вказаний у технічному завданні на конструкцію або у відповідному стандарті;

2) Визначити бажану сумарну висоту з'єднання;

3) Задати час імпульсу струму;

4) Задати зусилля стискання;

5) Визначити силу струму.

З використанням залежностей 3.1, 3.3 та 3.4 проведено розрахунки для визначення параметрів режимів контактного точкового зварювання дротів діаметром 3, 4 та 5 мм та побудовано номограми (рис. 4.1 – 4.9). Дані номограми є простими для сприйняття та придатні для використання у виробничих умовах.

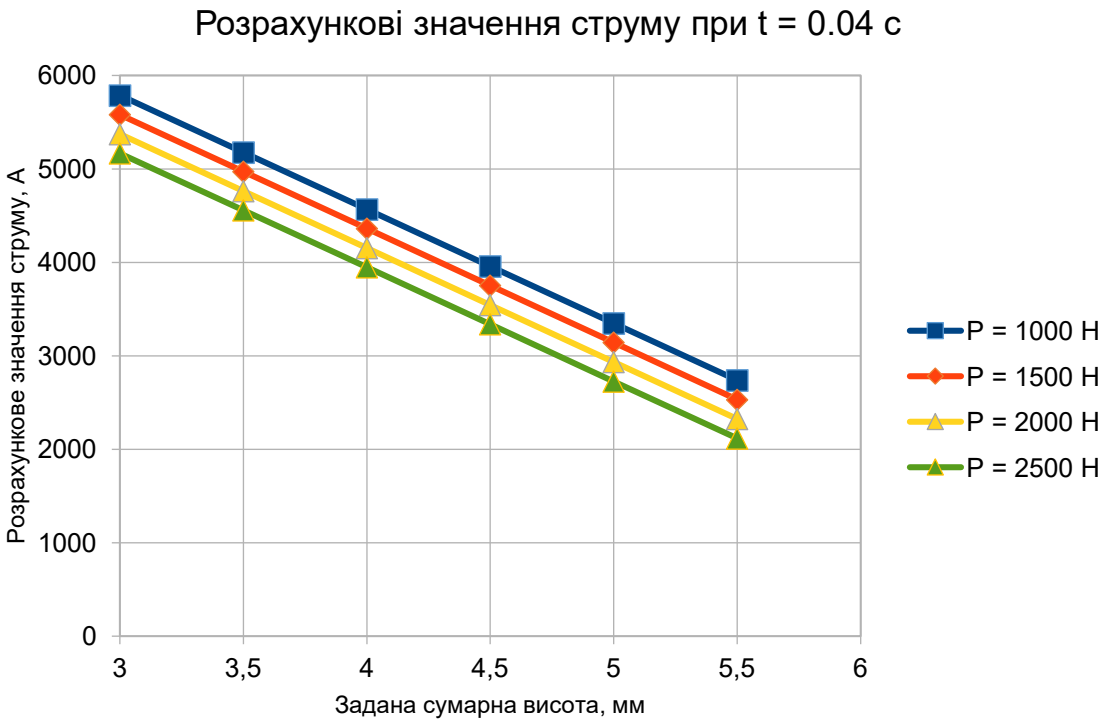


Рисунок 4.1 – Номограми для визначення сили струму зварювання для з’єднань дротів діаметром 3 мм при заданому часі зварювання 0,04 с

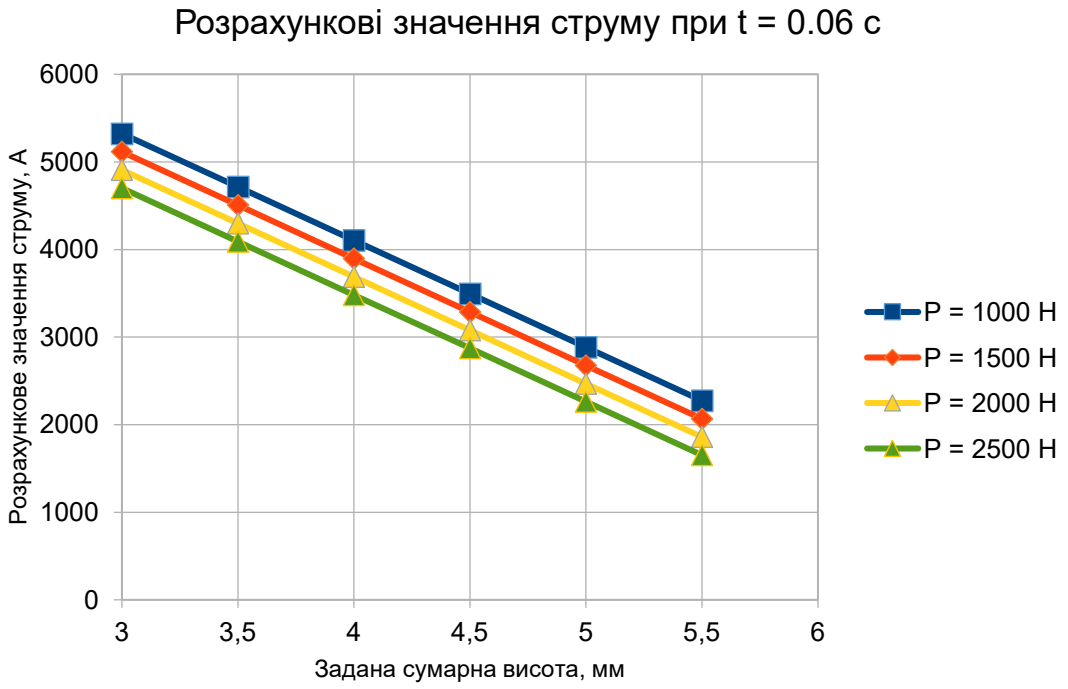


Рисунок 4.2 – Номограми для визначення сили струму зварювання для з’єднань дротів діаметром 3 мм при заданому часі зварювання 0,06 с

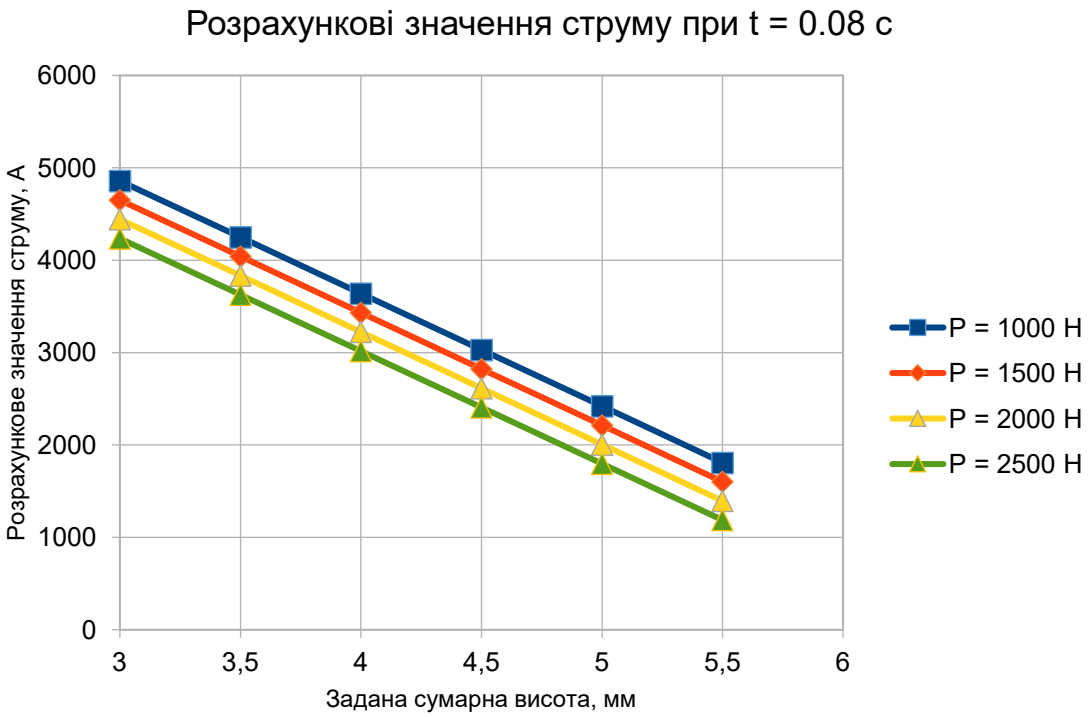


Рисунок 4.3 – Номограми для визначення сили струму зварювання для з’єднань дротів діаметром 3 мм при заданому часі зварювання 0,08 с

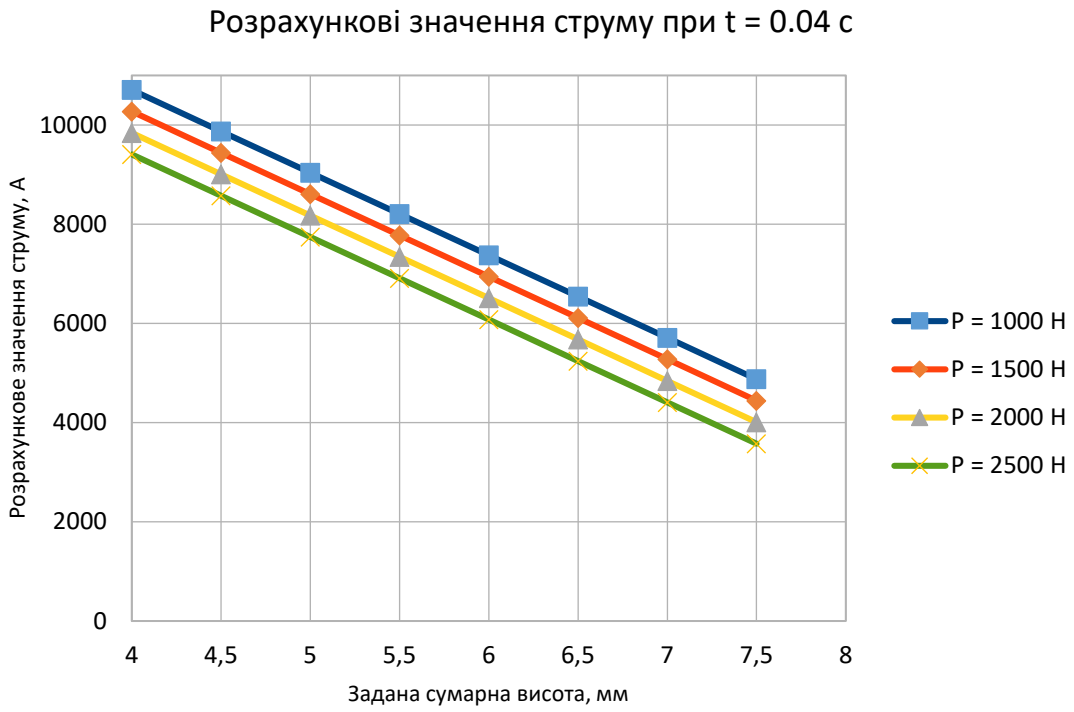


Рисунок 4.4 – Номограми для визначення сили струму зварювання для з’єднань дротів діаметром 4 мм при заданому часі зварювання 0,04 с

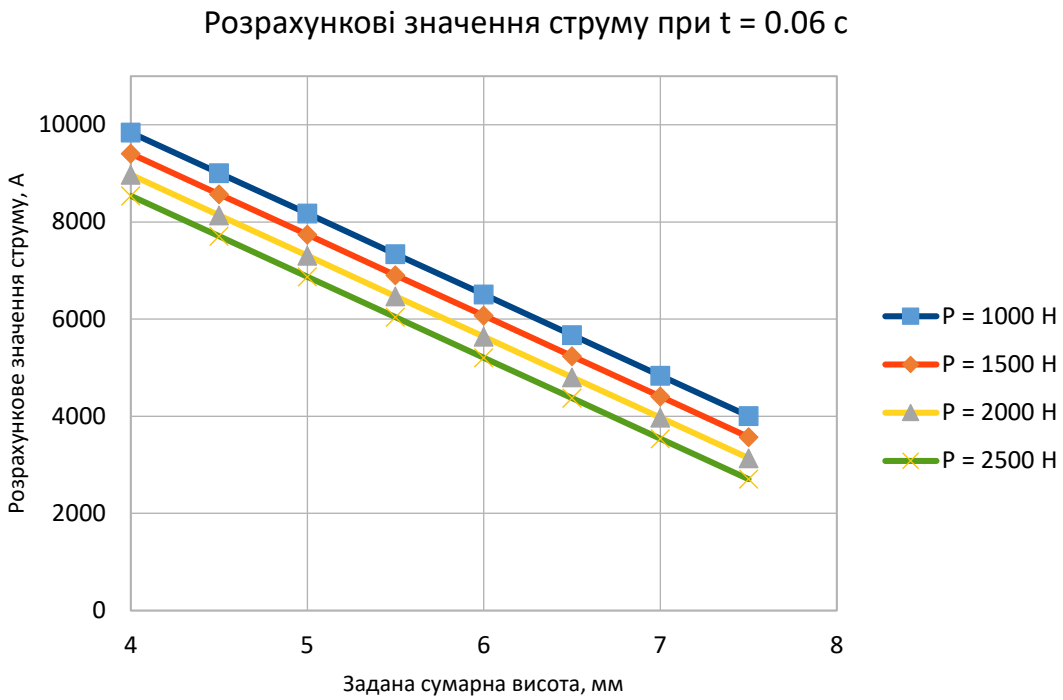


Рисунок 4.5 – Номограми для визначення сили струму зварювання для з’єднань дротів діаметром 4 мм при заданому часі зварювання 0,06 с

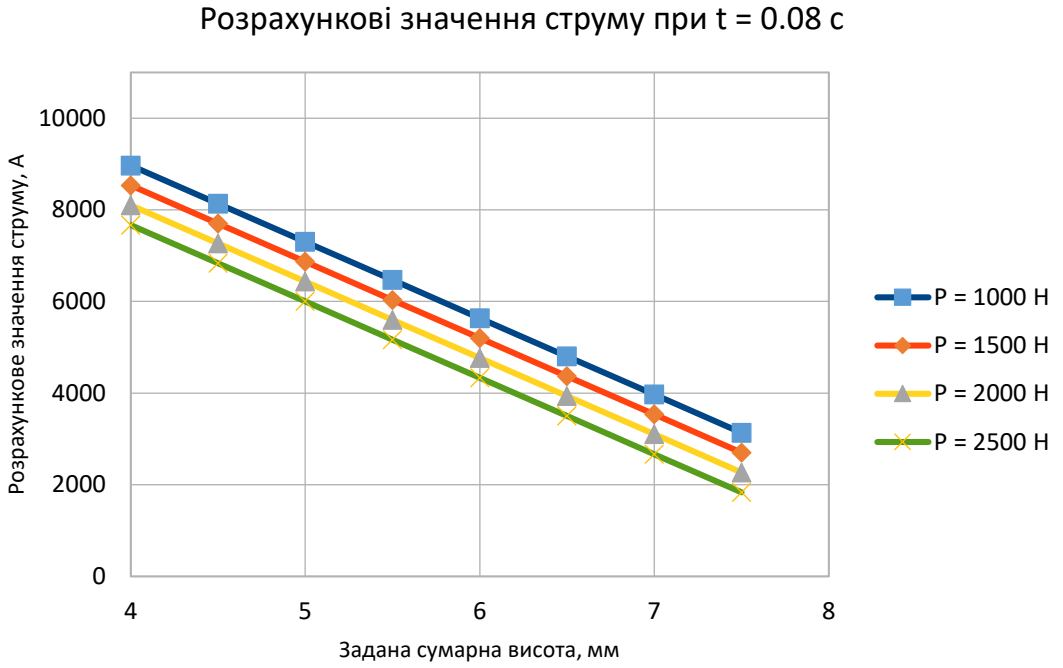


Рисунок 4.6 – Номограми для визначення сили струму зварювання для з’єднань дротів діаметром 4 мм при заданому часі зварювання 0,08 с

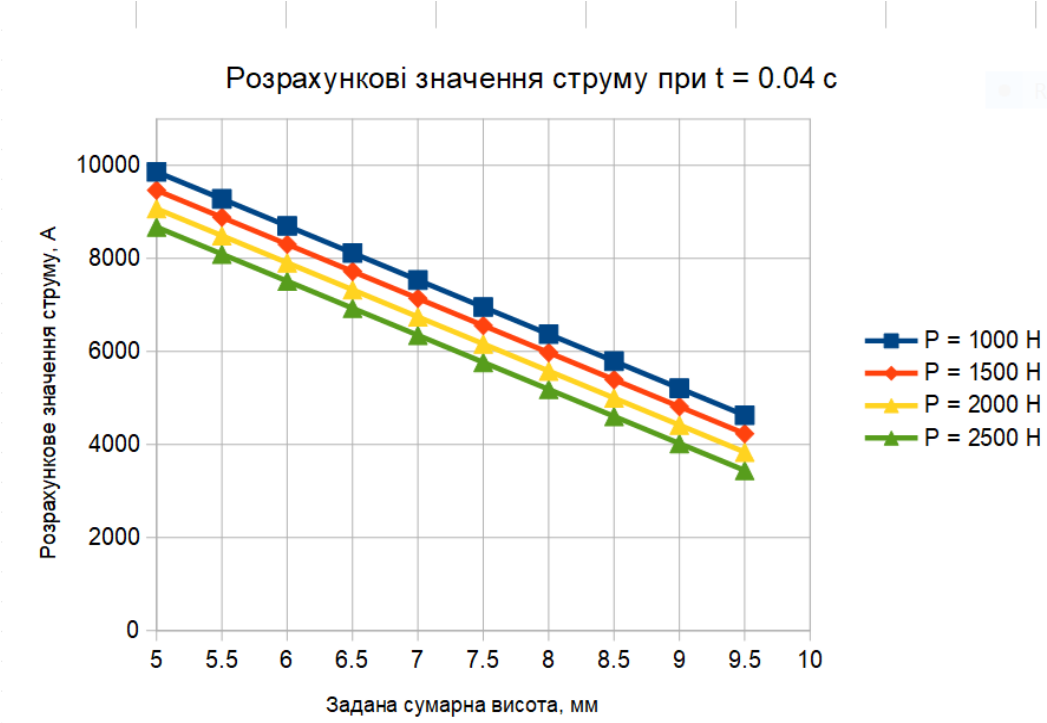


Рисунок 4.7 – Номограми для визначення сили струму зварювання для з’єднань дротів діаметром 5 мм при заданому часі зварювання 0,04 с

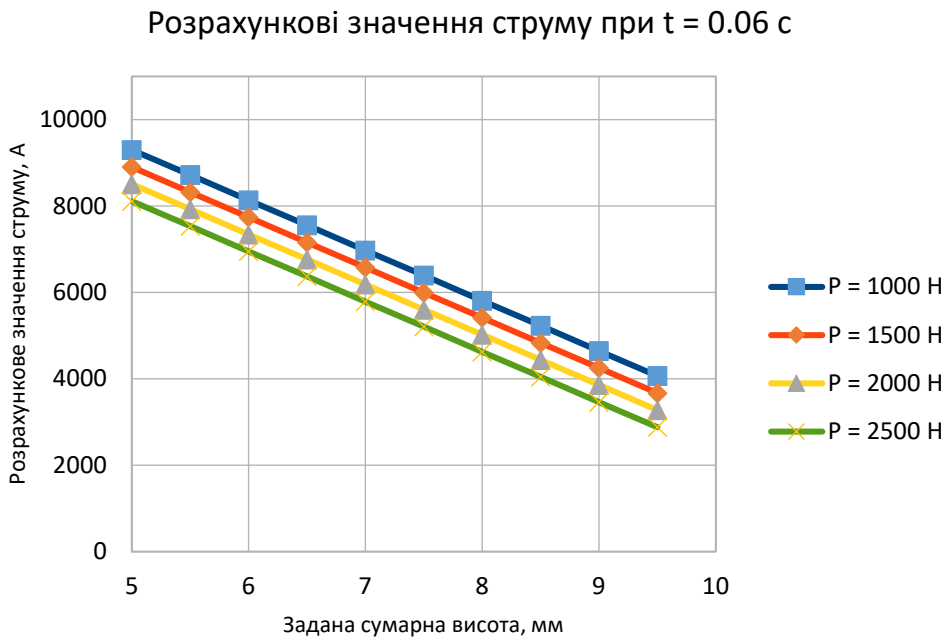


Рисунок 4.8 – Номограми для визначення сили струму зварювання для з’єднань дротів діаметром 5 мм при заданому часі зварювання 0,06 с

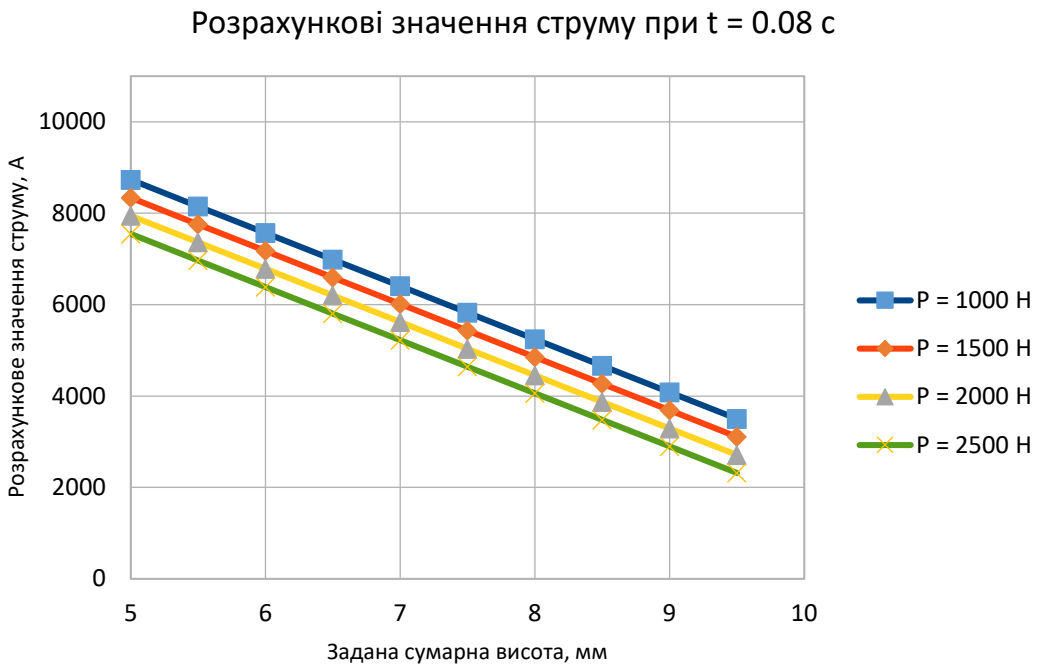


Рисунок 4.9 – Номограми для визначення сили струму зварювання для з’єднань дротів діаметром 5 мм при заданому часі зварювання 0,08 с

Висновки за розділом 4

1. Розроблено методику визначення основних параметрів режиму контактного точкового зварювання, а саме: сили струму зварювання, сили стискання електродів та часу зварювання – за заданими значеннями механічних та геометричних характеристик зварних хрестоподібних з’єднань дротів.

2. За моделями, отриманими в результаті експериментів, виконано розрахунки та побудовано номограми визначення стуму зварювання.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Для виконання дипломної роботи проводились експерименти на машині для контактного точкового зварювання МТ-1215 на кафедрі електрозварювальних установок, щоб у подальшому дослідити вплив параметрів на процес зварювання та якості зварних з'єднань.

5.1 Загальна характеристика установки, умови експлуатації

Основними небезпечними і шкідливими виробничими факторами, що виникають під час контактного зварювання металів, відповідно до ДСТУ 2489-94 є [31]:

- машини, механізми, заготовки і вироби, які рухаються, в тому числі приводи стиску, затиску та фіксації;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищена температура поверхні устаткування та матеріалів;
- підвищені запиленість і загазованість повітря робочої зони;
- підвищений рівень інфрачервоної радіації;
- підвищена напруга в електричному колі, замикання якого може пройти через тіло людини;
- підвищений рівень електромагнітних випромінювань;
- фізичні перевантаження.

Тому для уникнення можливих причин травматизму, профзахворювань, перенавантаження працівників слід дотримуватись правил безпеки.

Підключення машини до електромережі, розташування робочого місця, зберігання заготовок, утилізації відходів повинні відповідати правилам і вимогам безпеки праці. Оператор машини повинен бути допущений до роботи за медичними показаннями до джерел сильних магнітних полів (відсутність електронних пристроїв життєзабезпечення, кардіостимуляторів тощо).

Категорично забороняється використовувати машину в інших цілях окрім контактного точкового зварювання.

Вимоги до місця влаштування машини: сухе зачинене приміщення, горизонтальна рівна поверхня, відсутність зовнішніх вібрацій, відсутність поруч струмопровідного пилу, парів легкозаймистий рідин.

Далі у цьому розділі буде проаналізовано найбільш шкідливі та небезпечні фактори при контактному точковому зварюванні, визначені причини їх можливого виникнення та способи їх усунення з посиланнями на стандарти. Серед шкідливих та небезпечних факторів буде детальніше описано наступні:

- рівень шуму;
- підвищена напруга в електричному колі;
- електромагнітні випромінювання;
- машини і механізми, що рухаються, в тому числі приводи стискання

Специфікація технологічного обладнання

Експерименти проводились на кафедрі зварювального виробництва у лабораторії. Специфікацію технологічного обладнання та оснащення лабораторії наведено в таблиці 5.1, а сам план зображено на рис. 5.1 в мм (згідно вимог ЄСКД).

Таблиця 5.1 – Специфікація технологічного обладнання та оснащення вибраного приміщення

№	Найменування	Розміри Д/Ш/В,мм	Основні характеристики	Кількість	Позиція на рисунку
1.	МТ-1215	1330х550х 2000	Номінальна первинна напруга мережі живлення однофазного змінного струму 380 В; Номінальна частота мережі живлення 50 Гц Найбільший вторинний струм 15кА Найбільша потужність при короткому замиканні, кВА, не більше 120 Корисний виліт машини 500 мм Маса не більше 410кг; Найбільша короткочасна продуктивність при зварюванні деталей із маловуглецевої сталі товщиною 0,5+0,5 мм точ./хв., не менше 300;	1	1
2.	Стіл для заготівок	800х1700	Стіл повинен відповідати нормам встановленим у ОНТП 24-86.	1	2
3.	Стіл для деталей після зварювання	50х40	Стіл повинен відповідати нормам встановленим у ОНТП 24-86.	1	3
4.	Стіл з персональним комп'ютером	650х1000	Стіл повинен відповідати нормам встановленим у ОНТП 24-86.	1	4

План виробничого приміщення

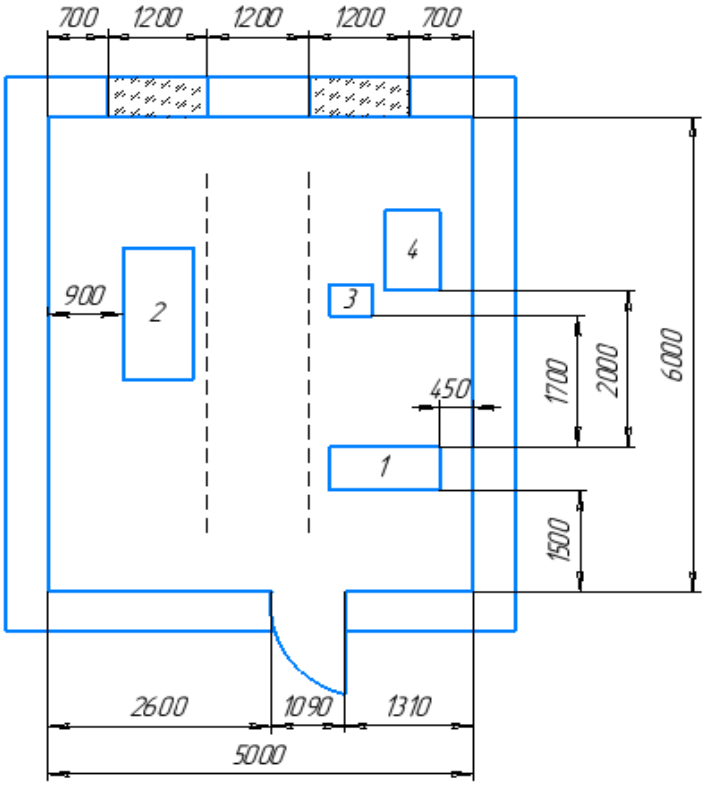


Рисунок 5.1 – План лабораторії для контактного точкового зварювання

У наведеному плані враховуються такі параметри (згідно з ДБН В.2.2-28:2010) [32]:

- ширина вікон відповідно до будівельних норм становить 1200 мм;
- світильники на плані позначаються пунктирною лінією; розміри світильників ЛПО-01: дволамповий 1313×255 мм;
- ширина дверей згідно будівельних норм - 1090мм;
- ширина головних проходів усередині проектується розміром 1,5м.

Габаритні розміри лабораторії вказані як 5000х6000.

Виробничі приміщення для усіх видів зварювання повинні відповідати вимогам ДСП № 173-96 [33].

Колірне оброблення інтер’єрів приміщень та устаткування в складально-зварювальних цехах повинно відповідати вимогам ДБН В.2.2-28:2010.

Підлога повинна мати рівну не ковзку поверхню та задовольняти санітарно-гігієнічним вимогам у відповідності зі ДБН В.2.2-28:2010.

Виробничі приміщення повинні бути обладнанні загальнообмінною припливно-витяжною вентиляцією відповідно до ДБН В.2.5-67:2013 [34]. Повітрообмін зварювальних цехів належить розраховувати на розведення шкідливих речовин, не задіяних місцевими витяжними пристроями, до рівня ГДК. При цьому кількість повітря, що подається припливними системами, повинна розраховуватися у відповідності з ДБН В.2.5-67:2013. Видалене повітря з виробничих приміщень в атмосферу повинно проходити фільтрацію від шкідливих речовин до концентрацій, що не перевищують допустимих рівнів викидів, у відповідності з ДБН В.2.5-67:2013. Подавання припливного повітря треба здійснювати в робочу зону або у напрямку робочої зони. Температура повітря, що подається вентиляційними установками, повинна бути не нижче +20 °С згідно з ДСН 3.3.6.042-99 [35].

План приміщення розраховувався з урахування ДБН В.2.2-28:2010.

Нормативні вимоги до встановлення обладнання щодо об’єму і площі приміщення на 1 працівника та місця розташування технологічного обладнання наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Реальні та нормативні характеристики приміщення розміщення технологічного обладнання

№	Параметр приміщення	Реальне значення	Нормативні значення
1	Площа на 1 працюючого	5,5 м²	4,5 м²
2	Об’єм на 1 працюючого	20 м³	15 м³
3	Мінімальна ширина проходу	1, 5 м	1,5 м

5.2 Оцінка умов праці

У цьому розділі було проаналізовано потенційні небезпеки та заходи по покращенню (нормалізації) умов праці. Завданням цієї частини розділу є аналіз виробничих факторів та технологічних процесів на предмет виявлення можливих причин травматизму, профзахворювань, перенавантаження людини.

Процеси точкового зварювання супроводжуються іскроутворенням . При точковому добре очищених стальних деталей в навколишнє середовище виділяється незначна кількість ЗА та газів. При наявності іржі, масла, емульсій, антикорозійних та інших покриттів, при зварюванні деталей з кольорових металів утворюється значна кількість аерозолю, що містить шкідливі речовини. Причому вміст у повітрі аерозолю збільшується з підвищенням потужності контактних машин. Свідчення про повну нешкідливість контактного зварювання помилкові, але у порівнянні з електродуговими способами вважається більш екологічним.

Найбільш небезпечними і шкідливими виробничими факторами при контактному точковому зварювання наведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Основні небезпечні і шкідливі виробничі фактори

№	Найменування обладнання	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
1 1	МТ-1215	електроди та інші рухомі частини конструкції	підвищений рівень шуму на робочому місці: шум від ударів електродів;	робітник
2 2	МТ-1215	струм	підвищена напруга в електричному колі: випадкове доторкання до неізольованих струмопровідних частин електроустаткування	робітник
3 3	МТ-1215	електромагнітні випромінювання	підвищений рівень електромагнітних випромінювань: вплив на центральну нервову і серцево-судинну системах	робітник

Продовження таблиці 5.3

№	Найменування обладнання	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
4	МТ-1215	механізми, які рухаються.	механічне ушкодження	робітник

5.2.1 Рівень шуму

Рівні звукового тиску й рівні шуму на робочому місці під час контактного зварювання відповідно до ДСН 3.3.6.037-99 [36] наведено в таблиці 5.4 та для машини МТ-1215 в таблиці 5.5 відповідно [37]:

Таблиця 5.4 – Допустимий рівень звукового тиску і рівень шуму на робочому місці під час контактного зварювання

Рівні звукового тиску в дБ (не більше) в октавних смугах із середньо - геометричними частотами, Гц									Рівень звуку в дБ (А)
31,5	63,0	125,0	250,0	500,0	1000,0	2000,0	4000,0	8000,0	80
107	95	87	82	78	75	73	71	69	

Таблиця 5.5 – Рівень звукового тиску і рівень шуму на робочому місці під час контактного зварювання для машини МТ-1215

Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах зі середньо-геометричними частотами, Гц								Рівень звуку в дБ (А)
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	80
99	62	86	83	80	78	76	74	

Отже маємо значення рівнів шуму і звукового тиску дещо більше, ніж нормативно встановлені, тому застосовується захист у відповідності до ДСН 3.3.6.037-99 захист від шуму досягається:

- застосуванням засобів і методів колективного захисту згідно з ДСТУ 7238:2011;

- засобів індивідуального захисту згідно з ДСТУ 7239:2011 [38];
- також будівельно-акустичними методами.

Основними засобами колективного захисту, що застосовано в залежності від реалізації є: акустичні, архітектурно-планувальні і організаційно-технічні.

Будівельно-акустичні заходи по зниженню шуму: пристрої кожухів, екранів; пристрої звукоізольованих кабін спостереження, управління; шум знижують також облицюванням звукопоглинаючими матеріалами стелі і стін; розміщення устаткування, по можливості, з меншою щільністю (не менше 1,5 м), що дозволяє використовувати екрани.

За допомогою звукоізолюючих заходів знижується рівень шуму на 30...40 дБ. Тому ефективними звукоізолюючими матеріалами є метали, бетон, дерево, скло, щільні пластмаси.

5.2.2 Підвищена напруга в електричному колі

Найбільша кількість випадків електротравматизму, в тому числі із смертельними випадками, стається при експлуатації електроустановок напругою до 1000 В. Основними причинами електротравматизму на виробництві є [39]:

- випадкове доторкання до неізольованих струмопровідних частин електроустаткування;
- використання несправних ручних електроінструментів;
- застосування нестандартних або несправних переносних світильників напругою 220 чи 127 В;
- робота без надійних захисних засобів та запобіжних пристосувань;
- доторкання до незаземлених корпусів електроустаткування, що опинилися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції;
- недотримання правил улаштування, технічної експлуатації та правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок та ін.

Електротравми, які отримують при контактуванні зі струмоведучими і незахищеними частинами устаткування : електричний опік, електричні, металізація шкіри, механічні ушкодження, електрофтальмія, електричний удар, клінічна смерть.

Гранично допустимі значення напруги доторкання та сили струму для нормального (безаварійного) та аварійного режимів електроустановок при проходженні струму через тіло людини по шляху „рука – рука" чи „рука – ноги" регламентуються ДСТУ 7237:2011 (таблиця 5.6 та 5.7).

Таблиця 5.6 – Граничнодопустимі значення напруги доторкання $U_{доп}$ та сили струму $I_л$ людини при нормальному режимі електроустановки

Вид струму	$U_{доп}$, В (не більше)	$I_л$, мА (не більше)
Змінний, 50 Гц	2	0,3

Таблиця 5.7 – Гранично допустимі значення напруги доторкання $U_{дот}$ та $I_л$, що проходить через тіло людини при аварійному режимі електроустановки

Вид струму	Нормоване значення	Тривалість дії струму t, с					
		0,1	0,2	0,5	0,7	1,0	Більше 1,0
Змінний, 50 Гц	$U_{дот}$, В (не більше)	500	250	100	70	50	36
	$I_л$, мА (не більше)	500	250	100	70	50	6

Аварійний режим електроустановки означає, що вона має певні пошкодження, які можуть призвести до виникнення небезпечних ситуацій. Як видно із таблиці 5.7 значення $U_{дот}$ та $I_л$ істотно залежать від тривалості дії струму.

5.2.3 Електромагнітні випромінювання

Оскільки напруги, що використовуються при процесі точкового зварювання, не перевищують 600 В, електричною складовою поля, яке формується навколо джерел живлення, нехтуємо. Великі значення струму, які протікають у вторинних ланцюгах, обумовлюють виникнення потужних магнітних полів.

Вплив магнітного поля промислової частоти позначається на центральній нервовій і серцево-судинної системах, які реагують навіть на незначні інтенсивності магнітних полів. Це приводить до зниження частоти серцевих скорочень (брадикардія), систолічного тиску, підвищеного тонусу судин і морфологічних змін, збільшенню швидкості кровотечі і розширенню артерій, гістологічним змінам у печінці, легенях, нирках і підшлунковій залози, що виражаються у виді дистрофії, мікробіозу і некрозу. Має місце розлад геодинаміки в більшості внутрішніх органів, що свідчать про загибель ферментних елементів крові; вплив магнітного поля промислової й іншої частоти на організм значно активніший, ніж постійного магнітного поля. Найбільш виражені зміни відбуваються в чоловічих полових залозах. Нормування магнітних полів здійснюється у відповідності до ДСН 3.3.6.096-2002 [39]. Одиницею напруженості магнітного поля є ампер на метр (А/м). Рівні напруженості магнітного поля частотою 50 Гц при постійному впливі не повинні перевищувати 1,4 кА/м протягом робочого дня (8 год).

Час перебування людини в магнітному полі напруженістю понад 1,4 кА/м регламентується таблицею 5.8.

Таблиця 5.8 – Допустимий час перебування людини в магнітному полі

Час перебування персоналу, год	1	2	3	4	5	6	7	8
Напруженість магнітного поля, кА/м	6,0	4,9	4,0	3,2	2,5	2,0	1,6	1,4
Магнітна індукція, мТл	7,5	6,13	5,0	4,0	3,13	2,5	2,0	1,75

Для визначення випромінювання проводяться виміри на відстані 0,5...1,5 м від установок. Визначений рівень випромінювання дає можливість оцінити ступінь впливу ЕМП на персонал і обґрунтувати як місце розташування пульта керування, так і комплекс захисних мір при експлуатації електрозварювальних установок (ЕЗУ).

Принцип проектування захисту від магнітного поля і вибір методів захисти починаються з порівняння допустимої напруженості магнітного поля з інтенсивністю поля на робочому місці, отриманої методами виміру. Якщо фактичні значення напруженості перевищують допустимі, то захисні заходи необхідні. З усіх відомих методів захисту організаційно-технічного характеру можуть бути застосовані: захист часом, відстанню, екранування струмопровідних шин, робочих елементів і всієї установки, вибір оптимальних електричних режимів зварювання, розмірів електродів.

$$H = \frac{IL}{4\pi r^2},$$

де I – найбільший вторинний струм, кА;

L – сумарна довжина електродів, м;

r – відстань, на якій проводяться вимірювання, м;

$$H = \frac{IL}{4\pi r^2} = \frac{17 \times 0{,}57}{4 \times \pi \times (0{,}5)^2} = 3{,}1 \ {}^{кА}/_{м},$$

Отже, потрібно застосувати засоби захисту від магнітних полів. Організаційні заходи включають раціональне розміщення установок, пульта керування і скорочення тривалості опромінення - захист часом.

Мінімальна відстань від осі електродів ЕЗУ до інших робочих місць, повинна бути не менш 2-3 м. Раціональне розміщення пульта керування зварювальними установками, тобто захист відстанню застосовується, якщо не можливо послабити інтенсивність опромінення в заданій робочій зоні іншими мірами. Мінімальна відстань розташування пульта керування, м:

$$r = \sqrt{\frac{IL}{4\pi(5-0{,}625\ln 0{,}01\cdot ПВ\cdot Т)}} = \sqrt{\frac{17\times 0{,}57}{4\pi\times(5-0{,}625\ln 0{,}01\times 50\times 1470)}} = 0{,}88$$

Якщо по технологічних і конструктивних причинах неможливо віднести пульт керування на безпечну відстань, необхідно обмежити тривалість опромінення, тобто застосувати захист часом, який визначається по формулі:

$$t_{доп} = e^{\left(8-\frac{IL}{7{,}85r^2}\right)} = 10\ хв.$$

Інженерно-технічні заходи включають вибір оптимальних електричних режимів зварювання і розмірів електродів, при яких напруженість поля не перевищує допустимих значень, а також екранування трансформатора, струмопровідних шин, електродів і оброблюваних виробів. Екранування ЕЗУ може бути загальним і поблочним. Для пристрою виконане загальне екранування, установка розміщується в екранованій кабіні, а пульт керування розташовується з зовнішньої сторони кабіни. Кабіна являє собою каркас з кутової сталі, що обшита листовою сталлю товщиною листа 1,5 мм.

Екрануються також струмопровідні шини, електроди. Як матеріал екрана використана звичайна електротехнічна (трансформаторна) сталь, так як коефіцієнт екранування, що представляє відношення фактичної напруженості

магнітного поля до допустимої дорівнює $К_э$=2,4, і матеріали з високою початковою магнітною проникністю.

До засобів індивідуального захисту належать захисні окуляри, щитки, шоломи, захисний одяг (комбінезони, халати з металовмісної тканини, окуляри з металовмісним склом) [40].

Службові приміщення на території об'єкта слід розміщувати переважно в місцях, захищених від ЕМП ("радіотінь", "мертва зона"), орієнтувати так, щоб було унеможливлене опромінювання вікон і дверей, у разі необхідності - екранувати.

5.2.4 Машини, механізми, заготовки і вироби, які рухаються, в тому числі приводи стискання, затискання та фіксації

Машини контактного зварювання в робочій зоні повинні бути оснащені захисними засобами згідно ДСТУ 2489-94, які охороняють оператора від розбризкувань металу і забезпечують безпечне спостерігання за зварюванням. Пневмосистеми машин контактного зварювання повинні бути обладнані глушниками шуму.

Під час проходження технологічних процесів контактного зварювання металів передбачено максимально можливу механізацію та автоматизацію процесу зварювання і його окремих елементів.

Електричне обладнання, що застосовується для зварювання, і його експлуатація повинні відповідати вимогам ДНАОП 0.00-1.32-01 [41] та ДНАОП 0.00-1.21-98 [44].

Корпус будь-якої електрозварювальної установки необхідно заземлювати. Захисне заземлення і занулення виконується згідно з ПУЕ-2017 [42]. Послідовне включення в заземлюючий провідник декількох апаратів забороняється.

Розташування захисних пристроїв не обмежує технологічних можливостей устаткування під час його експлуатації.

5.2.5 Висновок про небезпечні та шкідливі виробничі фактори

Таблиця 5.9 – Реальні та нормативні фактори небезпеки, що створюються в технологічному процесі

№	Фактор небезпеки	Реальне значення	Нормативні значення
1	Рівень звуку при частоті 500 Гц	83 дБ	78 дБ
2	Підвищена напруга в електричному колі	4В	$U_{дотику}$, не більше 2В
3	Напруженість магнітного поля, кА/м	5,0 за 1 годину	6,0 за 1 годину

5.3 Системи заходів і засобів безпечної експлуатації електроустановок для контактного зварювання

Заходи забезпечення охорони праці в умовах конкретного технологічного процесу представлені у таблиці 5.10:

Таблиця 5.10 – Заходи забезпечення охорони праці в умовах конкретного технологічного процесу

№	Група заходів з охорони праці	Вид заходу	Критерій вибору
1	Технічні заходи	система безпеки технологічних процесів (захисні огородження і блокування)	а) захист від випадкового дотику до струмоведучих частин; б) захист очей, рук і всього тіла від механічних та інших впливів устаткування, що експлуатується (наприклад, частинами, що рухаються і обертаються, відходами обробки, бризками рідини та ін.); в) захист обслуговуючого персоналу від попадання під небезпечну напругу

Продовження таблиці 5.10

№	Група заходів з охорони праці	Вид заходу	Критерій вибору
2	Режимні	заборону куріння та застосування відкритого вогню в недозволених місцях	Для уникнення пожежі
3	Експлуатаційні	передбачають своєчасне проведення профілактичних оглядів, випробувань, ремонтів технологічного та допоміжного устаткування, а також інженерного господарства	Для уникнення несправності устаткування
4	Засоби індивідуального захисту	засобів індивідуального захисту згідно з ДСТУ 7239: 2011 (навушники протишумні групи Б)	акустична ізоляція

Безпечна експлуатація електроустановки забезпечується [31]:

- конструкцією електроустановок (ТСЗЗ при нормальних режимах роботи електроустановок, ізоляція струмопровідних частин, забезпечення недосяжності неізольованих струмопровідних частин, попереджувальна сигналізація, мала напруга, електричний поділ мереж, вирівнювання потенціалів);

- технічними способами та засобами захисту (ТСЗЗ при переході напруги на нормально неструмопровідні частини електроустановок, захисне заземлення, захисне занулення, захисне вимикання);

- організаційними та технічними заходами (електрозахисні засоби та запобіжні пристосування, ізолювальні електрозахисні засоби, огороджувальні електрозахисні засоби, запобіжні електрозахисні засоби та пристосування).

До роботи на електрозварювальному устаткуванні допускаються особи, які пройшли попередню перевірку знань по електробезпеці, що мають кваліфікаційну групу по техніці безпеки не нижче ІІІ, які пройшли інструктаж по роботі на обладнанні МТ-1215, що знають його конструкцію.

Робота на машині дозволяється тільки при наявності надійного заземлення. Заземлюючі дроти, шини заземлення та інші елементи заземлення повинні щоденно перевірятися, особливо уважно після проведення ремонтних і налагоджувальних робіт. Треба пам’ятати, що робота без заземлення небезпечна для життя!

Доступ до електричної схеми дозволяється тільки електрику - налагоджувальнику, за яким закріплена дана машина. Оператору виконувати будь-які ремонті роботи забороняється.

Ремонт і обслуговування машини, в тому числі зачищування, заміна електродів мають виконуватися при вимкненому автоматі, відключеними подачею стиснутого повітря і води. При цьому потрібно пам’ятати, що на вхідних затисках напруга залишається. Допускаються налагоджувальні і регулятивні роботи проводити налагоджувальнику при увімкненому автоматі з дотриманні застережних мір. Зубчасті шайби, що слугують для заземлення щитів шафи, після закінчення ремонтних робіт встановлюються на місце.

Машина вважається знеструмленою, якщо вимкнений загальний мережевий вимикач.

Машину не можна вважати вимкненою, якщо сигнальна лампа, що вказує на наявність напруги, не горить.

Особи, допущені до роботи забезпечуються засобами захисту обличчя і очей - окулярами згідно з ДСТУ 7239:2011.

Для захисту від іскор і бризок розплавленого металу використовують спеціальний спецодяг і взуття згідно з ДСТУ 7239:2011.

Засоби захисту рук працюючого від контакту з поверхнями, що нагріваються, іскор і бризок розплавленого металу - ДСТУ 7239:2011.

Клас машини за способом захисту людини від враження електричним струмом – 01 згідно ДСТУ 12.0.230: 2008 [43].

5.4 Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях

Пожежна безпека

Згідно з НАПБ Б.03.002-2007 приміщення, у яких виконуються зварювальні та плазмові роботи, за вимогами вибухопожежної небезпеки належить до категорії Г (негорючі речовини й матеріали у гарячому, розжареному, розплавленому станах, процеси обробки яких супроводжуються виділенням променистої теплоти, іскор та полум'я; горючі гази, рідини, тверді речовини, які спалюються чи утилізуються у вигляді палива).[34]

Згідно з ДНАОП 0.00-1.21-98 та ДНАОП 0.00-1.32-01 у приміщенні виділяється зона II-IIа, де обертаються тверді горючі речовини. Категорія за БЕМЗ (безпечний експериментальний зазор між фланцями оболонки, мм) – ПА (> 0,9 мм). Група вибухобезпеки сумішей (за температурою самозапалювання) – ТІ (ТС) В > 450 ˚С. Ступінь вогнестійкості будівлі – I (не допускається поширення вогню на основні будівельні конструкції), мінімально допустиме обмеження вогнестійкості – 2,5 год, максимально допустиме обмеження поширення вогню для внутрішніх стін – 25 см.

Клас пожежі - Е. Пожежна безпека забезпечується:

- запобігання спалаху ізоляції при КЗ за рахунок максимального струменевого захисту;

- запобігання утворення горючого середовища за рахунок надійної герметизації обладнання, обмеженням застосування і зберігання горючих і вибухонебезпечних речовин;

- застосування пожежної сигналізації з датчиком (Д-038СП);

- використанням вуглекислотного вогнегасника (відповідно до класу пожежі Е) ОУ-8 в кількості 1 шт.

На дільницях виробничого приміщення, де застосовується зварювання передбачаємо встановлення протипожежних щитів, укомплектованих

вуглекислотними вогнегасниками, баграми, ломами, відрами, сокирами. Біля щитів передбачаємо наявність ящиків з піском, сухість якого регулярно перевіряється. Для гасіння можливих пожеж передбачаємо також використання азбестових покривал.

Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

У випадку пробою електричної напруги на корпус зварювального агрегату необхідно відключити рубильник і довести до відома про це майстра або начальника дільниці.

У випадку потрапляння кого-небудь під напругу, необхідно відключити зварювальний агрегат від мережі, покласти потерпілого на дерев’яний настил, підклавши під голову ватник, викликати лікаря за телефоном 103 і, якщо це необхідно, зробити постраждалому штучне дихання.

У випадку загорання зварювального агрегата необхідно відключити рубильник і приступити до гасіння пожежі за допомогою вогнегасника.

Кожен робітник і службовець, що виявив пожежу або загорання, зобов'язаний:

– негайно сповістити про це в заводську пожежну охорону за телефоном 101;

– приступити до гасіння вогню пожежі наявними в цеху (на дільниці) засобами пожежогасіння (вогнегасник, пісок, пожежний кран тощо);

– викликати до місця пожежі посадових осіб (начальника цеху, дільниці).

У випадку одержання травми необхідно довести до відома про це майстра, начальника дільниці та звернутися в медпункт [45].

Алгоритм дій за сигналом цивільного захисту “Повітряна тривога” [46]

Загальні положення

Сигнал “Повітряна тривога” передається через централізовану систему оповіщення (сирени), регіональне радіо та телебачення. Тривале звучання сирени (від трьох до п’яти хвилин) є попередженням про загрозу ракетних, авіаційних ударів противника і рекомендацією щодо негайного переміщення у найближче укриття.

Крім того, для отримання сигналів цивільного захисту “Повітряна тривога”, “Відбій повітряної тривоги” необхідно встановити на телефоні застосунок “Повітряна тривога” або “Київ цифровий”. Застосунки доступні у Google Play Market та AppStore.

Щоб отримувати сповіщення:

1. Встановіть застосунок “Повітряна тривога” через Google Play Market або AppStore: надайте дозвіл надсилати сповіщення та важливі попередження; виберіть область, у межах якої хочете отримувати сповіщення; відстежуйте початок та кінець повітряної тривоги.

2. Встановити на телефоні застосунок “Київ цифровий”

Щоб отримувати сповіщення:

Встановіть застосунок через Google Play Market або AppStore:

- у профілі – в налаштуваннях сповіщення надайте дозвіл надсилати сповіщення та важливі попередження;
- відстежуйте початок та кінець повітряної тривоги.

Дії працівників на робочому місці за сигналом “Повітряна тривога”

Працівники повинні знати:

- завдання з питань цивільного захисту за розподілом обов’язків у структурному підрозділі;
- місця укриттів у будівлі;

- маршрут та порядок руху до укриттів;
- правила поведінки в укриттях.

З отриманням сигналу "Повітряна тривога"

- вимкнути у разі необхідності струмоприймачі та вентиляцію;
- швидко, без метушні пройти до захисної споруди (сховище, найпростіше укриття або підвальне приміщення);
- зайняти місце в укритті та виконувати вимоги коменданта укриття.
- після завершення небезпеки з отриманням сигналу "Відбій повітряної тривоги" повернутись на робоче місце.

Дії учасників робочого процесу у разі ударів противника по об'єкту

З отриманням сигналу **"Відбій повітряної тривоги"** або у разі неможливості подальшого перебування в укритті через небезпечні чинники (руйнування, пожежі, значний вміст чадного газу у повітрі через пожежу тощо).

Ланка (комендант) укриття:

- інформують керівництво структурного підрозділу про надзвичайну ситуацію;
- забезпечують евакуацію тих, хто укривається в укритті, через аварійні виходи.

Керівники структурних підрозділів:

- керують діями формування цивільного захисту структурного підрозділу щодо:
- надання домедичної допомоги потерпілим, пораненим;
- гасіння осередків пожежі первинними засобами пожежогасіння;
- виклику екстреної медичної допомоги (103), пожежно-рятувальних підрозділів (101);
- організації виходу працівників до визначеного місця збору структурного підрозділу.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано особливості утворення з’єднань дротів, виконаних контактним точковим зварюванням. Встановлено, що вимоги до комплексу механічних та геометричних характеристик з’єднань залежать від призначення виробу. У свою чергу, вони залежать від основних параметрів режиму зварювання — сили струму, часу нагрівання та зусилля стискання. Показано, що зварне хрестоподібне з’єднання дротів складається із характерних зон, які утворюються у рідкій та твердій фазі. Співвідношення цих зон залежить від комбінації основних параметрів режиму зварювання.

2. Експериментально досліджено залежність між характеристиками зварних з’єднань, а саме: сумарною висотою з’єднання, зусиллям руйнування з’єднання на відрив, відсотком рідкої фази у з’єднанні та кутом зламу при руйнуванні скручуванням. Показано, що сумарна висота пропорційно залежить від фазового складу з’єднання. Для дротів діаметром 3 мм встановлено, що зусилля руйнування на відрив пропорційно залежить від сумарної висоти з’єднання в діапазоні значень висоти від 4 до 5.5 мм. Для дротів діаметром 4 мм і 5 мм встановлено, що кут зламу пропорційно залежить від фазового складу з’єднання. Таким чином, з сумарну висоту з’єднання було визначено універсальною характеристикою, вимірювання якої можливо оперативно провести у виробничих умовах без залучення кваліфікованого персоналу та без використання спеціалізованого обладнання.

3. Розрахунковим шляхом побудовано регресійні моделі, які пов’язують основні параметри режиму контактного точкового зварювання та сумарну висоту зварних з’єднань дротів. Показано, що лінійна модель для з’єднань дротів діаметрами 3, 4 та 5 мм забезпечує достатньо високу точність розрахунків із відносною похибкою 8%.

4. Розроблено методику визначення основних параметрів режиму зварювання за наперед заданими механічними або геометричними характеристиками. Наведено рекомендації стосовно призначення часу зварювання та сили стискання електродів. Побудовано номограми для визначення значень зварювального струму для з’єднань дротів діаметрами 3, 4 та 5 мм.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Пахаренко В.А. Зварювання тиском. – «Екотехнологія», 2011. - 272с.

2. В. Пахаренко Зварювання тиском. - Електронний підручник, 2013. - 320 с.

3. ТЕРМОМЕХАНІЧНІ МЕТОДИ ЗВАРЮВАННЯ. (n.d.). Stud. Retrieved June 10, 2024, from https://stud.com.ua/173399/tehnika/termomehanichnoyi_metodi_zvaryuvannya

4. Знайомство з принципами точкового зварювання. Статті компанії “Інтернет-магазин Forsage Svarka.” (2015, September 4). Forsage-Svarka.com.ua. https://forsage-svarka.com.ua/ua/a211361-znakomstvo-printsipami-tochechnoj.html

5. Технологія та устаткування зварювання плавленням та тиском. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів спеціальності 131 – Прикладна механіка, освітня програма «Технології та устаткування зварювання». /Укл.: Новомлинець О.О., Болотов М.Г., – Чернігів: ЧНТУ, 2018. – 35 с.

6. Патон Б.Е., Подола Н.В., Гавриш В.С., Лукович В.В. Оцінка якості контактного точкового зварювання за допомогою нейронних мереж. Автоматичне зварювання, №12, 1998.

7. Подола Н.В., Руденко П.М. Математичні моделі і алгоритми для АСУ ТП контактного точкового зварювання. Київ: Спільнота "Знання", 1980. - 24 с.

8. Подола Н.В., Руденко П.М. Автоматизовані системи контролю і управління контактним і дуговим зварюванням на основі мікро-ЕОМ. М.: Машиностроение, 1988. - 60с.

9. Irving B. The Search goes on for the perfect resistance welding control. Welding Journal №1, 1996. - P. 63-68.

10. Paton B.E., Podola N.V. Automatic resistance welding control system base on statistical models. IIW Public session. Bratislava, 1979. - P 148-156.

11. Дудка, Є. О. Технологія зварювання декоративних виробів з дроту : дипломний проект ... бакалавра : 131 Прикладна механіка / Дудка Євгеній Олексійович. - Київ, 2023. - 63 с.

12. Волченко В.М., Косирьов В.Ф., Євгеньїв І.Є. Вибір режиму точного зварювання стрижнів арматури залізобетону, що перетинаються, Автоматичне зварювання №10, 1956, с. 13-16.

13. Тазьба С.М. Про режими зварювання стрижнів арматури залізобетону, що перетинаються. Автоматичне зварювання №10, 1958, с. 60-66.

14. Бродський А.Я. Про параметри режиму контактного електрозварювання стрижневої арматури, що перетинаються, залізобетонні конструкції. Автоматичне зварювання №1, 1954 рік.

15. Глібов Л.В. До питання про точкове зварювання стрижнів, що перетинаються. Автоматичне зварювання №6. 1957 рік

16. ДСТУ 2651:2005 Сталь вуглецева звичайної якості. Марки

17. ДСТУ EN 10218-1-2001 Дріт сталевий та дротяні вироби. Загальні вимоги. Частина 1. Методи випробовування

18. Продукція зі сталі Ст3 URL: https://metinvestholding.com/ua/products/steel-grades/st3sp

19. Паспорт машини контактного точкового зварювання МТ 1215

20. Sovetchenko, Y., Vdovychenko, D., Vdovychenko, I., Chvertko, Y., Skachkov, I., & Shevchenko, M. (2021). Monitoring of resistance spot welding process. Mechanics and Advanced Technologies, 5(2), 249–253. https://doi.org/10.20535/2521-1943.2021.5.2.245070

21 Адлер Ю.П., Маркова Є.В., Граковський Ю.В. Планування експерименту під час пошуку оптимальних умов. М: Видавництво "Наука", 1976, - 278 с.

22 Quality Management in Welded Fabrication / S. Fomichov, Y. Chvertko, S. Minakov, I. Skachkov, A. Banin. - Springer, 2023. - 213 P. https://doi.org/10.1007/978-3-031-34800-6

23 1. Дудка Є.О., Козлов О.В., Чвертко Є.П., Вдовиченко Д.М., Вдовиченко І.М. Особливості визначення критеріїв оцінювання виконаних контактним точковим зварюванням хрестоподібних з’єднань дротів. Інноваційні технології та інжиніринг у зварюванні PolyWeld-2023: матеріали Міжнар. конф., м. Київ, 23–

24 листопада 2023 р. / КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра зварювального виробництва, 2023. С.109–110

24. Ye. Chvertko, S. Minakov, A. Minakov, D. Stepanov, N. Strelenko, D. Vdovychenko, I. Vdovychenko, Ye. Dudka, O. Kozlov, M. Shevchenko Peculiarities of determining the criteria for evaluating cross-wire joints made by resistance spot welding. Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2024): матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., м. Чернігів, 23–24 травня 2024 р. / НУ «Чернігівська політехніка», 2024. – Т.2. С.109–110

25 ДСТУ EN ISO 17662:2019 Зварювання. Калібрування, перевіряння й атестація устаткування для зварювання та споріднених процесів

26. Барабащук В.І., Креденцер Б.П., Мірошниченко В.І. Планування експерименту у техніці. До: Техніка, 1984, 200 с.

27. Бронштейн І.М., Семенов К.О. Довідник з математики. М:ВІШ, 1956,-608 с.

28. Волченко В.М. Розробка методів випробування зварних з’єднань стрижнів, що перетинаються. Зварювальне виробництво, №6, 1955, с.24-27.

29. Гіллевич В.А. Технологія та обладнання рельєфного зварювання. Л. Машинобудування (Ленінгр. відд-ня), 1976, 152 с.

30. Орлов Б.Д. Технологія та обладнання контактного зварювання. М: Машинобудування, 1986, 352 с.

31. ДСТУ 2489-94. Контактне зварювання. Вимоги безпеки.

32. ДБН В.2.2-28:2010-Будинки адміністративного та побутового призначення

33. ДСП № 173-96-Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів

34. ДБН В.2.5-67:2013-Опалення, вентиляція та кондиціонування.

35.ДСН 3.3.6.042-99-Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень

36. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку

37. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві: Навчальний посібник. К.: Основа, 2010. 240 с.

38. ДСТУ 7239: 2011 Системи стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація

39. ДСН 3.3.6.096-2002-Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів

40 Охорона праці та цивільний захист / О. Г. Левченко, О. І. Полукаров, В. В. Зацарний та ін. К.: Основа, 2019. – 472 с.// За ред. О. Г. Левченка.

41. НПАОП 28.52-1.31-13. Правила охорони праці під час зварювання металів.

42. ПУЕ-2017. Правила улаштування електроустановок. – К.: Міненерговугілля України, 2017. – 617 с.

43. ДСТУ 12.0.230: 2008 Система стандартів безпеки праці. Системи управління охороною праці.

44. НАПБ Б.03.002-2007. Визначення категорії приміщень, будинків там зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.

45. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Рекомендації до виконання розділу магістерської дисертації / Уклад. О. Г. Левченко, 2019. – 30 с.

46. Алгоритм дій за сигналом цивільного захисту «Повітряна тривога» URL: algorytm_dij_za_sygnalom_czyvilnogo_zahystu_povitryana_tryvoga.pdf (kpi.ua)