

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ,  
АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

НУБІП України

НУБІП України

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач кафедри електротехніки,  
електромеханіки та електротехнологій

НУБІП України

к.т.н., доцент \_\_\_\_\_ Окушко О.В.  
(підпис)

2022 р.

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

НУБІП України

на тему: «РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНОЇ  
ОБРОБКИ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ»

Спеціальність: 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

НУБІП України

**Гарант освітньої програми**  
д.т.н., проф.

Заблудський М.М.

(підпис)

**Керівник магістерської  
роботи**

к.т.н., доц.

Васюк В.В.

(підпис)

НУБІП України

**Нормоконтроль**

к.т.н., доц.

Усенко С.М.

(підпис)

НУБІП України

**Виконав**

Волощук М.Ю.

(підпис)

КИЇВ – 2022 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ,  
АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри електротехніки,  
електромеханіки та електротехнологій

к.т.н., доцент \_\_\_\_\_ Окушко О.В.

(підпис)

\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2022 р.

**ЗАВАННЯ  
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
СТУДЕНТУ**

**Волошук Микола Юрійович**

Спеціальність: 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: **«Розроблення системи  
електродинамічної обробки зварних з'єднань»**, затверджена наказом  
ректора НУБіП України від 8 грудня 2022 р., № 2066 „С”.

Термін подання завершеної роботи на кафедру: 05.11.2022.

Вихідні дані роботи:

а) Розрахункові технічні параметри генератора імпульсів струму: 5140  
мкФ – ємність конденсатора; 500 В – напруга на ємності; 9 мкГн – додаткова  
індуктивність; 15 МОм – опір зєднувальних провідників.

б) Розрахункові технічні параметри електромеханічний перетворювача:  
20 мм – внутрішній радіус котушки індуктивності; 92 мм – зовнішній радіус  
котушки індуктивності; 6 мм – висота котушки індуктивності; 18 – кількість  
витків в обмотці котушки індуктивності; 1,5x5,5 мм<sup>2</sup> – геометричний розмір  
проводу, обмотки котушки індуктивності; 0,7 – коефіцієнт заповнення  
котушки індуктивності; 0,5 мм – проміжок між котушкою індуктивності та  
диском; 97 мм – діаметр диска; 8 мм – товщина диска; 8 мм – діаметр  
електрода; 40 мм – висота електрода; 2 мм<sup>2</sup> – діаметр контактної площадки;  
5,46 МОм – активний опір котушки індуктивності.

в) Нормативно-правові акти, по регулювання діяльність  
електроенергетичної галузі в Україні, законодавча база України про охорону

праці. Актуальні норми технічного проектування енергетичних об'єктів, правила технічної експлуатації електроустановок споживачів.

Перелік питань, які потрібно розробити:

а) Виконати аналіз необхідності розробки енергоефективних електротехнічних систем та систем що дають можливість реалізувати локальний вплив для електродинамічної дії на зварні з'єднання;

б) Проаналізувати способів зниження залишкових напружень та розповсюджені конструкції лінійних електромеханічних перетворювачів

в) Розробити систему електродинамічної дії на зварні з'єднання;

г) обґрунтувати параметри системи електродинамічної дії на зварні з'єднання що будуть забезпечувати локальну релаксацію зварювальних залишкових напружень;

д) розглянути питання по проектуванні ремонтно-обслуговуючої бази зварювального підприємства;

е) Приділити увагу охороні праці при зварювальному виробництві.

Перелік графічних документів:

а) Одно та дво контурна електротехнічна системи для електродинамічної обробки зварних з'єднань;

б) Меридіанний переріз електромагнітної системи із зображенням зовнішнього електричного кола. Контур для створення пригискаючого зусилля;

в) Силове електрообладнання ремонтно-обслуговуючої бази зварювального підприємства;

г) Освітлювальне електрообладнання ремонтно-обслуговуючої бази зварювального підприємства.

Дата видачі завдання 08.12.2021.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_ Васюк В.В.

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Волощук М.Ю.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СПОСОБІВ ЗНИЖЕННЯ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ ТА КОНТРУКЦІЙ ЛІНІЙНИХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ.....	9
1.1 Методи зменшення зварювальних напружень, деформацій і переміщень в конструкціях.....	10
1.2. Основні типи лінійних електромеханічних перетворювачів .....	22
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ.....	26
2.1 Будова та принцип дії.....	26
2.2. Процес розрядження ємності на електромагнітну систему.....	29
РОЗДІЛ 3. ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ.....	43
3.1. Параметри електромеханічного перетворювача.....	43
3.2. Конструкція електротехнічної системи.....	51
3.3. Експериментальні дослідження .....	53
РОЗДІЛ 4. ПРОЕКТУВАННЯ РЕМОНТНО-ОБСЛУГОВУЮЧОЇ БАЗИ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ПІДПРИЄМСТВА.....	58
4.1. Обґрунтування проекту ремонтно-обслуговуючої бази зварювального підприємства.....	58
4.2. Вибір апаратів керування і захисту .....	63
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ЗВАРЮВАЛЬНОМУ ВИРОБНИЦТВІ.....	65
5.1. Вимоги охорони праці при організації проведення робіт .....	68
5.2. Вимоги охорони праці, що пред'являються до виробничих приміщень (виробничих площадок) і організації робочих місць .....	69
5.3. Вимоги охорони праці при здійсненні технологічних процесів, експлуатації обладнання і інструменту.....	71
ВИСНОВКИ.....	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	78

## ВСТУП

**Актуальність.** Практично всі технічні процеси виготовлення металевих виробів методами пластичного деформування пов'язані з формуванням самоврівноваженої системи залишкових напружень у готовому виробі. При цьому актуальним завданням є визначення впливу технології на рівень і характер розподілу залишкових напружень, які можуть досягати значних значень межі текучості і міцності матеріалу, що часто призводить до проблем навіть під час зберігання, або протягом перших кількох днів експлуатації. Руйнування конструкцій протягом годин при досить низьких рівнях експлуатаційного навантаження. У багатьох випадках рівень залишкової напруги є важливим параметром, що визначає якість продукту, отриманого пластичною деформацією. Залишкові напруги утворюються з різних причин (неоднорідність пластичної деформації, температурного поля, фазових перетворень тощо), і їх величина може перевищувати напругу від зовнішніх навантажень. [1–3].

В даний час до виробництва машин і конструкцій, в яких металеві вироби працюють в умовах високих навантажень і високих швидкостей, висуваються додаткові вимоги, при різких коливаннях параметрів зовнішнього середовища [1]. Досвід експлуатації конструкцій різних галузей техніки та результати численних дослідів показали, що залишкова напруга істотно впливає на надійність і довговічність машин і механізмів. Тому нацьфабрикати в таких галузях, як лиття, ковальство, штампування тощо, мають великий запас, що призводить до необґрунтованого використання металу при подальшій обробці, наприклад різанням. [2].

Важливо відзначити, що залишкова напруга може відігравати як позитивну, так і негативну роль у зміні міцності, жорсткості, стабільності та зносостійкості виробу, визначаючи його ефективність за різних видів і умов навантаження.

При сприятливому розподілі залишкових напружень підвищується міцність, оброблюваність і довговічність прокату або виробів з нього. Є багато прикладів сприятливого впливу залишкової напруги на якість продукту та його подальшу поведінку під навантаженням. У будівництві це напружений бетон, поліпшення експлуатаційних якостей якого обумовлено залишковими напруженнями стиску

(зазвичай напруга стиску на поверхні тіла відіграє позитивну роль, а розтяг — негативну).

Проблеми залишкових напружень включають вирішення комплексу наукових та інженерних завдань, включаючи теоретичні та експериментальні дослідження процесу формування залишкових напружених станів та управління ними, створення теоретичних детермінаційних та експериментальних методів дослідження, а також дослідження ефектів залишкових напружених станів. Залишкові напруги для міцності та експлуатаційних характеристик механічних частин і елементів конструкцій.

Для зменшення залишкової напруги при зварюванні зазвичай застосовують наступні методи: накачування і кування, термообробка, вібрація, ультразвуковий ударне навантаження і вибух тощо. Однак ці способи характеризуються суттєвими недоліками, а саме: недостатністю залучення високоенергетичного обладнання, суттєвими обмеженнями, які відображаються при здійсненні обробки великих об'єктів, і, головне, значними енергетичними витратами [4].

Спорідненим підходом до цієї проблеми є використання електричного транспорту, яке характеризується простим використанням та низьким енергоспоживанням. Суть методу виникає в наступному: при густині струму в металі більше  $10^9$  А/м<sup>2</sup> під дією стискаючої сили на рівні 20 кН досягається електропластичний ефект [5], який включає релаксацію напруженого стану оброблюваного об'єкта. Застосування цього ефекту в методах металообробки, використання яких є полегшення та інтенсифікація обробки [6].

Наразі відомі розрахунки, які втілюють це явище, і те, як воно досягається, але існує гіпотеза про ефект дислокаційних взаємодій, які спричинені потоком струму через оброблений об'єкт. Очевидно, що цей потік буде залежати від параметрів імпульсу струму, тобто: форми, амплітуди, тривалості тощо [7].

Щоб збільшити цей ефект, можна виконати електрокінетичну обробку, яка забезпечує поєднання ефектів електрорушівної сили та струму на об'єкті. Таким чином, завдяки сумісній дії струму через об'єкт, що обробляється, і імпульсної електромагнітної сили відбувається процес деформації, який взаємодіє з напругою і в результаті до залишкової пластичної деформації. Результатом

несприятливого впливу є те, що рівень залишкової напруги розтягування зварного з'єднання знижується або перетворюється в напругу стиску, що обов'язково впливає на продовження терміну служби зварного з'єднання.

Враховуючи вищевикладене, наступні переваги даної обробки зварювальних з'єднань можна сформулювати в можливості локальної дії, що дозволяє обробляти об'єкти будь-якої форми та розміру з невеликими витратами енергії.

Тому розроблено електротехнічну систему для виконання електродинамічної обробки, яку конструктивно можна представити у вигляді

індуктивного лінійного електромеханічного перетворювача ударної дії, що дозволяє одночасно використовувати силовий вплив і передачу імпульсів струму через контактний електрод на об'єкт обробки, є термінове завдання.

**Мета дослідження** – розробка електротехнічної системи для реалізації електродинамічної обробки, що дає змогу одночасно забезпечити як силовий вплив, так передати через контактний електрод імпульс струму в об'єкт обробки.

Для досягнення поставленої мети були вирішені такі дослідницькі завдання:

– аналіз необхідності розробки енергоефективних електротехнічних систем і систем локального впливу на електродинамічну дію зварних з'єднань;

– розробка систем електродинамічної дії на зварні з'єднання;

- обґрунтувати параметри системи електродинамічної дії на зварне з'єднання, яка забезпечить локальну релаксацію зварювальної залишкової напруги;

- Розглянути проектування ремонтних баз зварювальних підприємств

- Розглянемо питання охорони праці.

**Об'єкт дослідження** електрофізичні процеси в лінійному електромеханічному перетворювачі індукційного типу.

**Предмет дослідження** взаємозв'язок конструктивних, електричних і режимних параметрів лінійного електромеханічного перетворювача індукційного типу з ефективністю електродинамічного впливу на зварні з'єднання.

Достовірність і правдоподібність результатів дослідження підтверджують правильність використання результатів дослідження шляхом порівняння з

відомими джерелами досліджень і відповідність розрахункових і експериментальних результатів.

Теоретична цінність отриманих результатів полягає в обґрунтуванні конструктивних, електричних і режимних параметрів лінійного електромеханічного перетворювача індукційного типу.

У магістерській роботі інженерного рівня розглядаються наступні проблеми: аналіз необхідності розробки енергоефективних електричних систем і систем, здатних забезпечити локальний вплив на електродинамічну дію зварних з'єднань, розробка електродинамічної дії зварних з'єднань. Доцільним

заходом є параметри електричної дії системи, що забезпечують локальну релаксацію зварювальних залишкових напруг. Питання підключення, питання проектування бази обслуговування для зварювальних компаній, технічні питання охорони праці та безпеки.

**Практичне значення одержаних результатів.** Результати роботи знайшли практичне використання в розробці електротехнічної системи для електродинамічної обробки зварних з'єднань із регульованими параметрами розрядного кола.

Матеріали магістерської роботи були представлені та обговорювались на 75-тій науково-практичній онлайн-конференції студентів «Енергозабезпечення, електротехнології, електротехніка та інтелектуальні управляючі системи в АПК».



## РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СПОСОБІВ ЗНИЖЕННЯ ЗАДІШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ ТА КОНТРУКЦІЙ ЛІНІЙНИХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Будь-який матеріал прагне зберегти свою форму (розмір) під впливом зовнішніх навантажень. Ця здатність називається жорсткість. У той же час, згідно з фундаментальними законами фізики твердого тіла, для наявності зовнішніх навантажень у структурі матеріалу діють внутрішні сили, які прагнуть отримати решітку та запобігти деформації чи руйнування. Однак і жорсткість має своє обмеження - при різких зовнішніх навантаженнях матеріал стає інакше.

Пластмаси (наприклад, сталь, кольорові метали) - деформація Крихкі (бетон, скло, дерево) руйнуються. Деформація матеріалу може бути оборотною (при знятті навантаження матеріал повертається до початкової форми) і необоротною (під навантаженням матеріал розтягується, згинається тощо). Здатність чинити опір внутрішньому руйнуванню, спричиненому зовнішніми навантаженнями, називається міцністю матеріалу. Розумним є припущення, що, незалежно від типу деформації, усунення зовнішнього навантаження призведе до зникнення відповідного внутрішнього напруження. Однак це завжди не підтримується.

Після первинної механічної обробки заготовки (лиття, прокатка, штампування)

- навіть за будь-яких зовнішніх навантажень - можуть залишатися залишкові напруги, викликані внутрішньою структурою матеріалу.

Залишкова напруга поділяється на:

- перший вид напруги, що впливають на об'ємний об'єм матеріалу

заготовки;

- другий тип напруги, який існує в малих об'ємах (зерна, кристалічний матеріал);

- напруження 3-го роду, що не виходять за межі кристалічної решітки.

Результат

Величина та властивості залишкової напруги залежать від типу матеріалу, геометрії заготовки та фізичних процесів, які беруть участь у процесі виробництва. Тому для литніх заготовок залишкова напруга створюється внаслідок нерівномірного охолодження матеріалу в формі. Для кування або

штампування - не пошкоджений до ударних зовнішніх навантажень. Зварні шви також є значними концентраторами напруг.

У процесі різання, коли інструмент видаляє всю поверхню заготовки (припуск на обробку), структура матеріалу істотно змінюється і внутрішня напруга перерозподіляється. Сам інструмент (або фреза) також є джерелом напруги, деформує і нагріває матеріал у зоні обробки. У той же час перший вид залишкової напруги може мати значний вплив на якість готової деталі, викликаючи деформацію обробленої заготовки або тріщини на поверхні матеріалу. Ще більш небезпечною є здатність залишкової напруги проявитися

пізніше - після завершення механічної обробки готова частина механізму раптово і швидко зношується через розміри, що перевищують межі допуску[8].

### **1.1. Методи зменшення зварювальних напружень, деформацій і переміщень в конструкціях**

Існує кілька причин утворення внутрішніх залишкових напруг у зварних з'єднаннях і конструкціях:

1. Місцевий нерівномірний нагрів металу. Як відомо, всі метали при нагріванні розширюються, а при охолодженні стискаються. Під час зварювання локальний нагрів і подальше охолодження металу може створити нерівномірне температурне поле в зварному з'єднанні. У той же час зварна частина буде створювати залишкове термічне стиснення та/або напругу розтягування.

Величина цих напруг в основному залежить від температури нагріву, коефіцієнта лінійного розширення і теплопровідності зварного шва. При зварюванні жорстко закріпленої конструкції може зрости теплова напруга внаслідок обмеження її вільного переміщення в процесі нагрівання та охолодження. При цьому в нагрітій структурі за рахунок її розширення виникають внутрішні напруги стиску, а при наступному охолодженні в процесі її укорочення - напруги розтягу. Коли рівень внутрішніх напружень досягає рівня межі текучості, в металі починають відбуватися пластичні деформації, що призводить до зміни форми і розмірів зварного виробу. Після закінчення процесу

зварювання в зонах з нерівномірністю пластичної деформації виникають залишкові напруги.

2. Нерівномірність структурних перетворень у металі. При зварюванні конструкції з вуглецевих і легованих сталей при нагріванні високої критичної температури можливе виникнення напруги внаслідок зміни типу решітки і утворення фази з великим питомим об'ємом і ефективними лінійними коефіцієнтами. Розширення максимальної напруги виникає при зварюванні конструкції з легенової і сталеві статі до відпустки. У таких сталях відбувається структурне перетворення з утворенням так званих зміцнених структур (мартенситу), які мають великий питомий об'єм, вищу твердість, крихкість і знижену пластичність. Таке перетворення супроводжується збільшенням обсягу. Прилеглий метал напружується при розтягуванні, а ділянки з мартенситною структурою розтягуються. У випадку непластичних сплавів це може призвести до розтріскування.

3. Ливарна усадка наплавленого металу. Коли розплавлений метал шва охолоджується і твердне, він стискається. Це можна пояснити тим, що в процесі гартування збільшується щільність металу, а отже, зменшується його об'єм. Оскільки міцне з'єднання наплавленого металу з основним металом залишається незмінним і протистоїть усадці, у зварному з'єднанні створюються поздовжні і поперечні залишкові напруги, які можуть призвести до відповідної деформації зварного з'єднання. Поздовжня усадка в стику призводить до поздовжньої деформації осі шва, а часто й до поперечної кутової деформації [9].

Відомі методи зниження зварювальних напруг і деформації форми зварювальних конструкцій, засновані на трьох основних методах налаштування:

- зменшення об'єму металу, що бере участь у пластичній деформації на фазі його нагрівання, а також зменшення самої пластичної деформації;

- в області пластичної деформації, викликаної нагріванням, спостерігається додаткова деформація протилежного знака. Робити це можна під час охолодження і після повного охолодження.

- компенсувати виниклі деформації та переміщення симетричним розміщенням швів, створенням додаткової зони пластичних деформацій, початковим переміщенням, забезпеченням вільної посадки тощо.

Розглянемо деякі способи, які використовуються у виробництві. Нагрівання при зварюванні змінює температурні діапазони і деформації швів, а в деяких випадках і властивості металу, впливає на термічний цикл. При цьому навантаження змінюються через структурні зміни. У разі пластичної деформації нагрівання зменшує межу текучості, модуль пружності та різницю температур з одного боку. Его сприяє максимальному зниженню внутрішньої напруги. З іншого боку, він розширює зону пластичної деформації, якщо підведення тепла при зварюванні залишається незмінним. При нагріванні до дуже високих температур, де їх мало, залишкові напруги також дуже малі.

Кування застосовується як при зварюванні на металі, що остигає, так і після його повного охолодження. Кування накладає метал товсто, створюючи деформаційні пластичні деформації в площині, перпендикулярній до напрямку удару. Цим досягається зниження розтягуючих напруг або навіть виникнення залишкових стискаючих напруг. Ефект кування залежить від температури, кількості теплоти, що виділяється при куванні, і величини пластичної деформації. Якщо температура в зоні кування вище, ніж в іншому (нековочном) металі, то в процесі подальшого охолодження і зниження температури металу зменшуються стискаючі напруги і навіть можуть проходити розтягувальні напруги при холодному куванні. нагрів зазвичай низький і можуть виникати високі напруги стиску. Кування здійснюється механізованим інструментом з малою (6...7 м/с), середньою (до 100 м/с) і високою (понад 100 м/с) швидкостями руху молота. Кування маневрена, що є її перевагою перед іншими методами.

При імпульсній обробці вибухом використовується стрічковий заряд, який розміщується на оброблюваній поверхні. Вибух відбувається в спеціальному приміщенні, яке створює напругу на поверхні. Цей метод використовується як спосіб підвищення довговічності зварних з'єднань при змінних навантаженнях. За допомогою такої обробки відбувається перерозподіл залишкової напруги.

Прокатка зони зварного з'єднання в основному використовується для зменшення згладжування з'єднань. При прокатці розтягуючої напруга зменшується і може стати стискаючою.

Метод додаткового навантаження, який реалізується при зварюванні, навантаження застосовується таким чином, що в зоні зварювання створюється розтягуюча напруга. Це зменшує залишкові сили розтягування та усадки. Якщо навантаження прикладається після зварювання, напруга, що призвела до результату навантаження, повинна складатися із залишкової напруги, розтягування та розширення пластичної деформації. При знятті навантаження напруга падає. Щоб повністю виключити внутрішню напругу, напруга від навантаження повинна бути близькою до межі текучості металу, чого часто важко досягти.

Застосовуються як статичні, так і вібраційні навантаження. В останньому випадку напруга трохи зменшується, але цього достатньо, щоб сума майбутніх робочих і залишкових напруг не спотворювала розміри конструкції в процесі експлуатації [10].

Викликає нерівномірне нагрівання та охолодження. Якщо ви створюєте зони нагрівання з обох сторінок зварного з'єднання, метал розширюється, викликаючи розтягування вздовж шва і стискання поперек шва. Цей режим напруги сприяє протіканню пластичної деформації в сторону шва, що є тим самим, що необхідно для усунення залишкової напруги розтягування. Переміщуючи нагріту зону зварного шва, охолоджуючи метал за джерелом тепла, процес можна виконати безперервно.

Якщо ви зосередите охолодження на ділянці в напруженому розтягуванні, вона стиснеться, що призведе до збільшення залишкової напруги до напруги розтягування від охолодження. Це призведе до подальшого зниження пластичної деформації та залишкової напруги після вирівнювання температури.

Локалізований, зосереджений нагрів окремих ділянок використовується для спричинення усадки металу в місцях, де подається тепло, і напруга стиску в суміжних приміщеннях. Він має обмежену корисність як засіб регулювання напруги, і цей підхід широко використовується для редагування структури.

Відпустка зварних з'єднань використовується для зміни структури і властивостей металу, зменшення залишкових напружень. При підвищених вимогах до міцності зварної конструкції і точності її розмірів у подальшій експлуатації має сенс використання футеровок для зниження залишкових напружень. Крім того, інколи доцільно відновити пластичні властивості в місцях концентрації пластичних деформацій під час зварювання та підвищити стійкість до крихкого руйнування. В інших випадках брати відпустку не рекомендується через подорожчання виробництва конструкцій.

Розрізняють: загальні відпустки, коли весь продукт прогривається рівномірно; локальний – нагрівається лише частина конструкції в області зварного шва; поетапний - джерело нагріву переміщається по конструкції, наприклад труби або оболонки, послідовно нагріваючи її ділянки. Поелементно - вузли зварної конструкції піддаються термічній обробці, а потім зварюються між собою. Основна перевага релаксації як методу зниження залишкових напружень полягає в тому, що відсутні пластичні деформації, які б знижували пластичність металу.

Не рекомендується тривалий вплив як засіб для зняття стресу. Ефективніше злегка підняти температуру свята. Необхідно виділити таку температуру відпалу для зниження напруги, щоб виключити можливість окрихчення сталі. Як зазначалося вище, при зварюванні і термічній обробці об'ємних деталей в глибині металу можуть виникати об'ємні напруги. Їх зі зменшенням більшого відбувається за рахунок пластичної деформації та релаксації напруження поверхневого шару, а не глибини металу. Повзучість металу до поверхні до перерозподілу напружена, і їх зменшення відбувається по всьому об'єму тіла. Однак маги на увазі, що максимальне напруження в області об'ємного напруженого стану все одно в 2 ... 2,5 рази слідє значення одновісного або двовісного режиму напруження. У цьому випадку збільшення часу експозиції не має позитивного ефекту, оскільки уповільнення релаксації поверхневої напруги відповідає настільки ж повному зменшенню глибинної напруги [11].

На всіх етапах проектування та виготовлення зварних конструкцій передбачені заходи щодо зменшення деформацій і переміщень швів.

На етапі розробки проекту необхідно прийняти наступні конструктивні рішення, які дозволять технологі уникнути значних перекосів зварної конструкції і при необхідності організувати корекцію:

- виділити мінімальну кількість зварюваного металу; Перетин кутових швів слід приймати за розрахунком на міцність або згідно з рекомендаціями щодо мінімального катету швів. Площа поперечного перерізу та лінійна енергія при однопрохідному зварюванні, міцність і поперечна усадка обернено пропорційні квадрату кінцівки шва.

- використовуйте процеси зварювання з мінімальним підведенням тепла, напр. Б. Контактне зварювання замість дугового зварювання, багат шарове зварювання замість одношарового зварювання. При визначенні виду зварювання необхідно дотримуватися і не перевищувати допустимі швидкості охолодження металу.

- балкові конструкції проектується з таким перерізом і таким положенням швів, щоб моменти, створювані усадочними силами, були врівноважені, а кути руйнування від поперечних швів взаємно компенсували прогини. Це забезпечує мінімальний прогин балок.

- слід прагнути до таких послідовностей складання та зварювання, при яких моменти інерції та площі поперечного перерізу є якомога вищими при виконанні певних швів. Наприклад, послідовне складання елементів у складних конструкціях призводить до більших розмірних спотворень, ніж збирання всієї конструкції на латах і подальше її зварювання.- У деяких випадках зручно забезпечити вільне зменшення елементів шляхом усадки, щоб не викликати перекосів всієї конструкції. Перед кріпленням до інших частин конструкції листи з'єднуються встик, що забезпечує можливість безперешкодної поперечної усадки швів.

Для конструкцій з тонкостінними елементами шви розміщуються на жорстких елементах або біля них.

При розробці технології і зварювальних робіт застосовуються такі заходи:

- застосовувати розумну послідовність монтажно-зварювальних робіт, передбачених проектом або обраною технікою в межах своїх можливостей.

Наприклад, конструкція розділена на окремі вузли, які легко скріплюються окремо, а потім зварюються між собою з мінімальними відхиленнями. Викривлення також можна зменшити шляхом побудови елементів однієї і тієї ж балкової конструкції в певному порядку. Починати збірку з найбільш жорстких елементів.

- прописує економічні методи та режими зварювання з мінімальними тепловими вкладеннями та деформаційними властивостями, які не шкодять якості конструкції. Шляхом регулювання швидкості охолодження і хімічного складу металу шва змінюються властивості перетворення мікроструктури і сили усадки.

- зберіть та закріпіть зварювальні компоненти за допомогою відповідного обладнання та пристроїв. Вони особливо ефективні для усунення тимчасових переміщень, які мають значні розміри, але не супроводжуються великими зусиллями усадки, наприклад, стискання листів при зварюванні стикових з'єднань, закріплення ребер і діафрагм при виконанні куткових швів, утримання пластини у площині точкового зварювання під час контакту і шовне зварювання, закріплення елементів каркаса при зварюванні в кутах і перетинах.

- визначення розмірів заготовки з урахуванням подальшої усадки, наприклад, встановлення змінної довжини зазору при електрошлаковому зварюванні; компенсація кута при зварюванні стикових з'єднань; створення попередньої кривизни балок; подовження для різання, внаслідок чого вона втрачає стабільність при подальшій усадці.

- попередньою пластичною деформацією заготовок перед зварюванням створюють переміщення, протилежні очікуваним при зварюванні.

→ штучним охолодженням, до якого відносяться подача води при контактному зварюванні; обдув газо-водяною сумішшю при деяких способах зварювання; використання охолоджуваних підкладок і накладок в затискних пристроях, зменшують зону пластичних деформацій.

- використання обладнання або спеціальних пристроїв (зазвичай шляхом згинання, рідше шляхом розтягування) для створення напруги в зоні зварювання для зменшення сили усадки. Використовуйте цей прийом при зварюванні балок.



- деформація пластичного подовження шляхом кування металу спеціальними інструментами або зварювальними електродами при точковому контактному зварюванні відразу.

Для модифікації конструкції після зварювання використовуються різні механічні та термічні процеси.

Механічні методи засновані на створенні пластичних деформацій розтягування для компенсації пластичних деформацій стиснення зварюванням і включають згинання, розтягування, кування, статичне осадження металу в товщину під пресом для його подовження в площині, вібрацію, прокатку. При цьому вони не прагнуть до рівномірного зниження пластичних деформацій і залишкових напружень в області зварного з'єднання.

Розглянемо детально, як усунути деформації в тонколистових зварних з'єднаннях шляхом прокатки зони шва циліндричними роликми. Прокатка викликає пластичну деформацію металу по товщині і призводить до подовження металу переважно в поздовжньому і частково в поперечному напрямках. Для усунення деформацій у всьому виробі достатньо під час прокатки створити пластичні деформації, які мають однакову величину, але протилежний знак зі зварюванням тільки всередині зони [9-10].

Плющення сталевими валками шириною 5.. 15 мм. Хоча подовження металу в поперечному напрямку невелике, деформація, викликана поздовжньою усадкою, виключається.

Напруга розтягування може зменшуватися, наближатися до нуля або навіть ставати стискаючим. Залишкова напруга в зоні прокату близько «0» залежить від багатьох факторів.

Експериментально і математично показано, що для кожного металу із заданими розмірами валків и

товщини металу в зоні прокатки на валках діє певна сила  $P_0$ , при якій залишкові напруги, рівні межі текучості до прокатки, після прокатки зводяться до нуля. Зменшення товщини металу становить приблизно 0,5.. 0,1%. Для усунення деформації точкових зварних швів також можна використовувати прокатку.

Якщо прокатка не забезпечує достатньої корекції, її можна повторити. Повторна прокатка в тому самому місці з постійним додатком сили викликає спадаючу пластичну деформацію, яка становить не більше 10..15% від деформації попереднього проходу. Щоб отримати більшу пластичну деформацію при багаторазовій прокатці, необхідно збільшити зусилля.

Механічна правка прокаткою вимагає якісної збірки перед зварюванням і певного порядку збирання, зварювання і правки. Якщо зварювання одного зі швів не впливає на якість складання другого, то виправлення можна зробити після зварювання обох швів.

Усунення деформацій прокаткою здійснюється на елементах товщиною до 8,12 мм, але можливе і на більших товщинах. Прокатку можна застосовувати для виробів зі сталі, титану та алюмінієвих сплавів. Для конструкцій з низькопластичних матеріалів валики використовувати не рекомендується. За наявності корозійного середовища необхідно дослідити вплив кочення на корозійну стійкість зварних з'єднань [11].

Термічні методи також засновані на створенні пластичної деформації необхідної сигнатури. За допомогою місцевого нагрівача (так зване термічне правлення) відбувається пластична деформація укорочення. Его означає, що нагрівання, як правило, повинно зберігатися поза зоною пластичної деформації, яка виникає під час зварювання. Листи, які втратили стійкість до напруги стиску, знають нагрівання та усадки в зоні стиску. Укорочення листа за рахунок термічної правки та подальшого охолодження забезпечує розпрямлення листа.

Вуглецеву сталь зазвичай нагрівають до 600..800 °С газом. Нагрівання відбувається точками або смугами. Щоб досягти короткочасного концентрованого нагріву, не нагрівайте прилеглу зону, не допускайте розширення нагрітого металу.

Про результати правки можна судити тільки після повного охолодження конструкції. Після нагріву листовий елемент іноді забивають в рівну поверхню. Завдяки низькій межі текучості нагрітого металу він легко осаджується, і при цьому відбувається пластична деформація укорочення.

Завдяки своїй простоті, універсальності та маневреності термічне рихтування широко використовується на виробництві.

Термічна корекція шляхом повного нагріву деталі під час відпуски неможлива без використання обладнання, після чого напруга зменшується як у зонах розтягування, так і в зонах стиснення. Баланс сил ледь порушується, тому зміщення зберігається. Якщо деталі надати необхідну форму за допомогою жорсткого зажимного пристосування, а потім разом із зажимним пристосуванням покласти його в піч, то релаксація напружитися впаде до низького рівні. Якщо деталь звільняється від пристрою після відпуску, вона не деформується і зберігає задану форму.

Проведені дослідження О. О. Троїцький в Інституті фізичної хімії АН СРСР під керівництвом акад. В. І. Спіцина, та виявив, що крізь метал пропускають електричний струм густиною  $105 \div 106 \text{ А/см}^2$  і тривалістю близько  $10^{-4}$  секунд, який разом з теплом ще й впливає на процес пластичної деформації в металі [8-9]. Досліджено взаємодію потоку електронів з дислокаціями, які, очевидно, впливають на пластичну деформацію металів. Для виявлення цього ефекту використано гіпотезу «електронного вітру» та ефект додаткової сили імпульсного струму – ефект контракції [9]. Підводячи підсумок, можна сказати, що процес деформації, при якому струм проходить через метал з густиною від сотень до тисяч  $\text{А/см}^2$  і реалізується з відповідною тривалістю, називається ефектом електропластичної деформації.

Отже, на реалізацію цього ефекту, очевидно, впливає густина струму та тривалість імпульсу, яка показала, що зі збільшенням амплітуди густини струму в металі ефективність електропластичного ефекту зростає, починаючи з щільності струму  $105 \div 106 \text{ А/см}^2$ . Що стосується тривалості імпульсного струму, то електропластичний ефект виникає від значень  $10^{-4} \text{ с}$  і зростає до значень  $10^{-3} \text{ с}$ , причому термічні ефекти мають значний вплив, але при менших значеннях тривалість імпульсу, ефект не проявляється. У разі збільшення частоти наскрізних імпульсів ефект зростає, але величина зміни деформації від кожного імпульсу зменшується [8].

Таким чином, електропластичний ефект, безсумнівно, належить до кооперативних явищ. Його можна використовувати для будь-яких видів металообробки. Для цього необхідно виконати дві обов'язкові умови:

- Заготовки повинні бути механічно напружені вище межі текучості  $\sigma_s$ ;
- Зона деформації металу повинна бути піддана імпульсам струму вищевказаного стану.

Менш обов'язкові, але ідеальні умови для реалізації

В електропластичному ефекті є ще три умови, пов'язані з параметром імпульсного струму:

- тривалість прямокутних і трапецієподібних імпульсів струму повинна бути близькою до характерних часів стрибків деформації  $10^{-4}-10^{-3}$  с і не перевищувати  $(1,5-2,5) \times 10^{-2}$  с, коли небажані значні теплові процеси;

- амплітудна щільність струму  $J$  повинна бути не менше  $10^5-10^6$  А/см<sup>2</sup>, щоб електрони провідності могли передавати імпульси сили та енергії достатньої величини до дислокацій та інших рухомих дефектів структури для їх руху та стимулювання пластичної деформації металу;

- Частота імпульсів  $F$  повинна бути достатньою (зазвичай сотні герц), щоб дати можливість струму пройти обробку через усі ділянки зони деформації заготовки. Величина  $F$  легко збільшення поділу швидкості  $v$  переміщенні заготовки через осередок деформації на розмір осередку деформації в поздовжньому напрямку та векторі густини струму;

Роль електропластичного ефектів до таких основних результатів:

- стійкість металу до деформації знижена на 25-30%;
- підвищена пластичність металу при обробці;
- збільшення залишкової пластичності до 30%;
- підвищення досконалості осьової текстури дроту в процесі його волочення, що призводить до зниження опору на 15%;
- поліпшення структури і фазового складу дроту;
- під час прокатки, волочіння і волочіння нержавіючої сталі майже повністю пригнічується аустенітно-мартенситне перетворення, що усуває необхідність проведення дорогих і енергоємних операцій відпалу;

- знижена ймовірність крихкого руйнування матеріалу під час обробки..

В основі електропластичного ефекту лежить силовий вплив електричного струму на пластичну деформацію металу, переважно по двох каналах - через електронну підсистему за допомогою «електронного вітру» на дислокаціях і через гратчасту підсистему металу за рахунок дії імпульсного струму (Струм взаємодіє з власним магнітним полем), створюючи коливання решітки. Завдяки останньому фізичному фактору вузли сітки коливаються, подібно до коливань, що виникають при дії ультразвукових хвиль на пластичну деформацію металів, механізм механічного прискорення, незалежний від термічної дії металу. Крім того, останні експерименти показують, що в складі металів присутні нові фізичні явища спінової релаксації металу та його вплив на механічні властивості металів, які в принципі можна покращити до технічно важливих.

В даний час електропластичний ефект покриття в обробці металу широко вивчений і широко використовується [67, 83-85], і він спеціально використовується для виробництва катанки, порожникового матеріалу, листового прокату, штампування, плющення, кування, прокатки та інших технологічних операцій.

В даний час вплив електропластичних ефектів на здійснення електромеханічної обробки до кінця не вивчено. Дослідження електропластичного ефекту в основному спрямовані на визначення впливу компонентів електропластичного ефекту на пластичні властивості металів.

Однак дослідження та розробка електричних систем, які забезпечують електропластичні ефекти для зменшення залишкового зварювального напруження, розглядалися лише поверхнево. Враховуючи те, що вплив електричного струму на механічні властивості металів легко досяжний, це пояснює інтерес вчених до використання імпульсної електромагнетики для зниження зварювальних залишкових напружень у зварних конструкціях.

Реалізувати аналогічний імпульсний електромагнітний вплив певних параметрів на метал можна за допомогою електродинамічної обробки, яка полягає в одночасній дії імпульсної електродинамічної сили та імпульсного струму.

В результаті в металі зварного з'єднання ініціюються деформаційні процеси, які взаємодіючи зі зварювальними напруженнями викликають залишкову пластичну деформацію. Наслідком такого поєднання є зниження рівня залишкових розтягуючих напружень або перетворення їх у стискаючі, що впливає на збільшення довговічності зварних з'єднань шляхом релаксації напружень. Систему, яка б пододала такий вплив, конструктивно можна реалізувати у вигляді лінійного електромеханічного перетворювача індукційної імпульсної дії системи індукційного типу, яка здійснює електродинамічний вплив на зварне з'єднання шляхом пропускання імпульсів струму із заданими параметрами, що генеруються джерелом імпульсу.

Особливо слід відзначити використання електродинамічної обробки для зниження залишкових зварювальних напружень, а саме [1, 8-10]:

- Простота, неускладненість, універсальність, мобільність і малі розміри, що забезпечують можливість використання для обробки великих об'єктів з можливістю локальних дій;

- зискі витрати на обслуговування та значні 50-кратне скорочення часу процесу;

- енергоспоживання значно знижується більше ніж у десять разів;

- практично не забруднює навколишнє середовище; іншими методами (термічним 30-70%, вібраційним 40-55%, ультразвуковим 16-30%, ударно-вибуховим навантаженням 40-60%, механічним впливом 10-30%).

Таким чином, кінетична обробка має значні переваги перед аналогічними методами зменшення залишкової напруги, а також забезпечує подальші дослідження для розробки системи для досягнення цього ефекту та встановлення структурних, електричних і робочих характеристик, щоб гарантувати, що параметри струму є достатніми для ефективного регулювання залишкової

н

а

п

р

у

г

и

## 1.2. Основні типи лінійних електромеханічних перетворювачів

Лінійний електромеханічний перетворювач удару — пристрій, призначений для класичного перетворення електричної енергії струму в джерело механічної енергії прямолінійного руху його рухомого елемента, джерелом якого є імпульсний ємнісний акумулятор з електронною системою керування.

За принципом дії можна виділити такі типи лінійних електромеханічних перетворювачів удару, а саме: магнітоелектричні, електромагнітні, електродинамічні, орбітальний прискорювач та індукційний. [12-13]

Магнітоелектричні перетворювачі працюють за принципом взаємодії постійних магнітів з магнітним полем, створеним обмоткою індуктора. За допомогою постійних магнітів він кріпиться як на статорі, так і на рухомому роторі, причому можна монтувати кілька секцій. Можна виділити один недолік цих перетворювачів, навіть якщо він використовує постійні магніти, що не дозволяють регулювати імпульси струму в обмотках індуктора вище певного рівня, що у вашому місці вибирається межі специфікації. Ці перетворювачі та їх застосування [14].

Перетворювач електромагнітного типу виконаний на основі взаємодії імпульсного через обмотку індуктора магнітного поля від джерела струму з рухомим феромагнітним якорем. Обмотка індуктора складається з кількох послідовних секцій, які послідовно збуджуються і в які втягується рухомий якор, що здійснює його рух. Однак ці перетворювачі повинні використовувати електронну систему живлення, яка керує комутацією ділянок обмоток індуктора [14].

Перетворювач шин має форму провідного якоря, затиснутого між двома нерухомими електродами. Джерело живлення збуджує імпульсний струм, який протікає як через електроди, так і через якор, викликаючи його рух в результаті такої взаємодії. Однак у міру розвитку цього процесу з'являється великий струм, який у свою чергу спричиняє виникнення теплових процесів на контактних поверхнях, що суттєво обмежує його застосування [13].

Перетворювач електродинамічного типу заснований на взаємодії магнітних полів, створюваних рухомою обмоткою якоря і нерухомою обмоткою індуктора, що живляться від одного джерела енергії. Той факт, що індуктивність змінюється

в процесі руху між обмотками, впливає на величину електродинамічних сил, але викликає зміну ККД лінійного перетворювача в залежності від взаємного розташування обмоток при комутації між обмотками великого струму. При переміщенні обмотки якоря істотним недоліком даної конструкції [12]

Індукційний перетворювач заснований на взаємодії магнітного поля, збуджуваного змінним струмом обмотки індуктора з індукційним струмом в якорі. Залежно від конструкції перетворювачі цього типу можуть бути виконані як коаксіальні, бічні, дискові або кільцеві прискорювачі. Традиційно перетворювачі цього типу виготовляють без магнітопровода і з нерухомою обмоткою індуктора і, відповідно, рухомим провідним якорем, який представляється у вигляді провідного елемента у вигляді диска або іншої форми [14].

При встановленні на тому ж валу, що і індуктивна обмотка, яка починає рухатися за рахунок електродинамічної взаємодії з індуктивною обмоткою. Анкери у формі дисків легше виробляти за рахунок більшої механічної жорсткості та максимального коефіцієнта заповнення. Однак через нерівномірний розподіл індукційного струму ємність диска використовується нерівномірно. Тому, коли обмотка індуктора живиться від ємнісного накопичувача енергії в тій чи іншій, генерує струм, який, у свій час, захищає електроруїнівну силу.

Підсумовуючи, можна виділити переваги індуктивного лінійного електромеханічного перетворювача, а саме: появи прив'язки до параметрів джерела імпульсів; можливість реалізації струмопровідника індуктивної обмотки на окремі невеликі струми; безконтактний рух якоря по індуктивній обмотці. Можливість розгону якорів будь-якого розміру шляхом забезпечення високих пускових прискорень. Можливість розподілу електроруївної сили по всій довжині якоря. Можливість реалізації замикання струму через джерело від зовнішніх джерел і джерел з обмотками відновлення пол. [15].

Отже, проаналізувавши відзначені переваги індуктивних лінійних електромеханічних перетворювачів, зокрема можливість здійснення впливів, які поєднують одночасну дію електроруївної сили і струму, можна з



упевненістю стверджувати, що використання цього типу перетворювача є найбільш ефективним, розумний.

На даний момент не розроблено лінійний електромеханічний перетворювач із застосуванням індуктивної ударної дії, яка призвела б до сумісної дії електроруйнівної сили та струму.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

### 2.1. Будова та принцип дії

Пропоновані електротехнічні системи, що реалізують електродинамічну обробку, включають: індуктивні електромеханічні перетворювачі з можливістю ударної дії та джерела імпульсів струму (рис. 2.1). Основною функцією електромеханічного перетворювача є встановлення електричного контакту між електродами, щоб через них проходив імпульсний струм, створений джерелом живлення, а ще одним призначенням є застосування сили.

Електромеханічний перетворювач індукційного типу

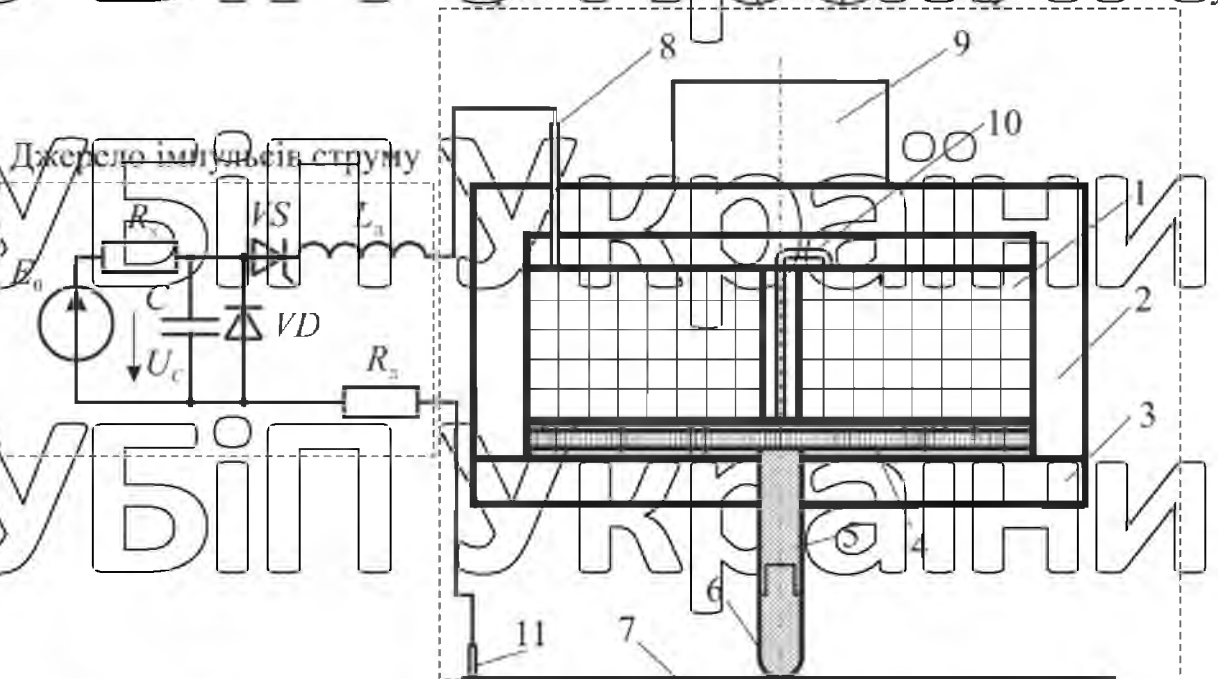


Рис. 2.1. Електротехнічна система для електродинамічної обробки зварних з'єднань

Конструктивно електромеханічний перетворювач (рис. 2.1) складається з індуктивної котушки 1 і коаксialного з котушки великого провідного диска 4 в корпусі. До диска кріпиться вольфрамовий електрод із закругленою поверхнею, який 6 вставляється в затиск 5. Котушки розміщені в ізоляційних корпусах 2, 3

разом з дисками. Для належного функціонування системи має бути точно розміщено на зварному з'єднанні під прямим кутом 7 [16].

Крім того, для створення деякого контакту між електродом і зварним з'єднанням на корпусі 7 закріплений вантаж 9, реалізація цього моменту може бути реалізована інакше. Електродна система живиться через провідники котушки 8, 10 і контактує зі зварним з'єднанням, яке створює розрядний контур. Параметри імпульсу струму задаються джерелом імпульсу. Підсумовуючи, ця конструкція зменшує залишкову напругу шляхом виконання електродинамічної обробки, тобто електроруйнівну силу і дію на зварне з'єднання одночасно.

Принцип роботи джерела живлення та формування імпульсу струму відбувається в накопиченому заряді через резистор за допомогою конденсатора, який живе від джерела постійної напруги, і конденсатор розряджається в електромагнітній системі, тобто характеризується індуктивністю і опір, у такому порядку є індуктивністю індуктивності та активним опором опори котушки. 1; , є додатковими індуктивностями та опорами, значення яких можна змінювати відповідно до об'єкта обробки, і реалізує можливість зміни параметрів і імпульсів у розрядному контурі.

Індукційна котушка 1 спочатку допускає тиск електрода 6 до з'єднувального з'єднання 7, який тиск повинен виникати в момент проходження імпульсу струму по розрядному контуру відповідно до взаємного відштовхування струму в індукційній котушки 1, а також вихрові струми, що індукуються в диску 4 для цього, щоб для комутації в цьому коли використовує тиристори VS. Для аналізу процесу в розрядному ланцюзі і запису осцилограми використовується осцилограф, підключений до пункту

Через те, що електродинамічна сила затиску стає негативною під час процесу розряду, внаслідок чого диск притягується котушкою, існує ризик порушення електричного контакту між електродом і об'єктом, що підлягає обробці. Цей ефект може призвести до розрядні процесу з виділенням теплової енергії в зоні контакту електрода зі зварним з'єднанням. Тому саме для вирішення цієї проблеми рекомендується зменшити електродинамічну силу.

Для аналізу причини появи цієї сили було встановлено, що вона пов'язана з величиною похідної сили струму в ланцюзі і подальшою зміною її знака на протилежний. Враховуючи ці відбиття, зменшення швидкості зміни струму в розрядному ланцюзі незабаром після того, як він перевищить своє максимальне значення, призведе до зменшення негативної сили. Цей процес характеризується аперіодичним розрядом конденсатора в розрядний ланцюг, який

Однак цей спосіб, очевидно, пов'язаний з подальшим збільшенням активного опору всього розрядного кола і призведе до зменшення величини струму. Зважаючи на це, ця задача була вирішена встановленням блокуючого діода VD паралельно конденсатору С.

Це гарантує, що протягом певного часу, поки напруга на конденсаторі не зміниться на протилежний знак, діод знаходиться в закритому стані і на наступному етапі відкривається і продовження подальшого перехідного процесу відбувається вже в ланцюзі розряду, в якому присутні індуктивність і активний опір.

Крім того, одним із можливих шляхів вирішення цієї проблеми є реалізація електродної системи на основі двох схем (рис. 2.2), одна з яких буде здійснювати динамічну дію і притискати електроди до поверхні зварювального з'єднання, а інша схема видаватиме імпульс струму через зварювальний апарат до цього. Реалізація системи також, очевидно, цікава. Крім того, електромагнітні процеси в цих запропонованих системах можна здійснювати подібними обчислювальними методами.

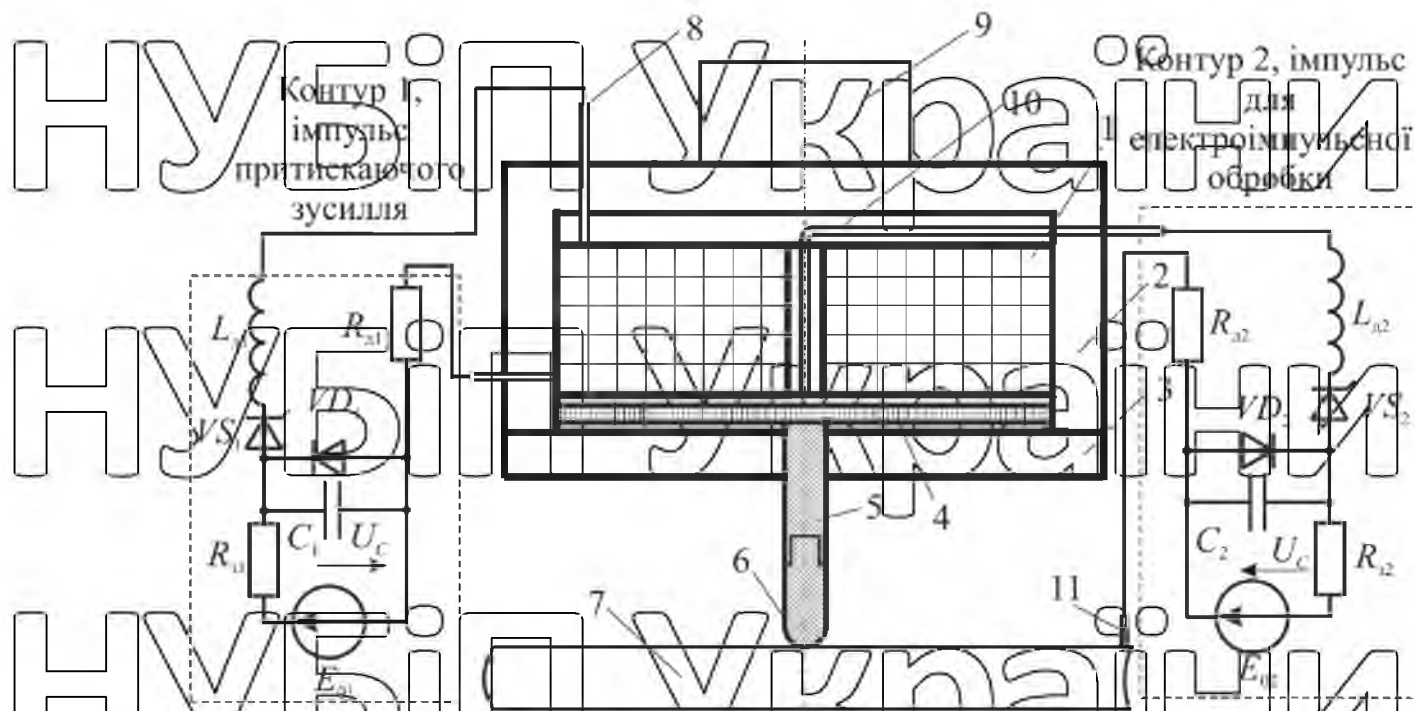


Рис. 2.2. Двоконтурна електротехнічна система електричної обробки: індукційний електромеханічний перетворювач: 1 – котушка; 2 – ізоляційний корпус; 3 – кришка; 4 – диск; 5 – обойма; 6 – вольфрамовий електрод; 7 – зварне з'єднання; 8, 10, 11 – виводи котушки; 9 – навантаження. Джерело імпульсів – джерело постійної напруги першого, другого контурів;  $C_1, C_2$  – конденсатори; – опори;  $L_1, L_2$  – індуктивності;  $VS_1, VS_2$  – тиристори; – вимірюючі шунти;  $VD_1, VD_2$  – діоди.

## 2.2. Процес розрядження ємності на електромагнітну систему

Розробка додаткової системи передбачає розрахунок електрофізичних процесів, результатом якого є визначення структурних електричних та модальних параметрів, які забезпечують валідність застосування електрообробки, тому необхідно встановити електричні параметри ланцюга  $R, L, U_c$ , які забезпечують притискання електродів до зварювального з'єднання зусилля, необхідне для з'єднання, з'єднання, а також час витримки, і задають потрібну густину струму в зоні зварного з'єднання.

Для розрахунків будемо вважати, що ємність, заряджена напругою, виділяється в систему, яка включає додаткову індуктивність і опір, а також індуктивну котушку з активним опором і з'єднувальні провідники, які займаються об'ємом, пов'язаним поверхнею знею.

Щоб спростити та однозначно проблему захворювання, припустимо, що струм тече в розрядному ланцюзі, де струми зсуву в діелектрику, що оточує провідники, не заплутані.

Розв'язування такої задачі вимагає розв'язування тривимірної крайової задачі рівнянь Максвелла в необмеженій області:

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \vec{\delta}; \operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}; \operatorname{div} \vec{B} = 0; \operatorname{div} \vec{\delta} = 0; \vec{B} = \mu \vec{H}; \vec{\delta} = \gamma \vec{E}. \quad (2.1)$$

де  $\vec{E}$  – вектор напруженості електричного поля, В/м;  $\vec{H}$  – вектор напруженості магнітного поля, А/м;  $\vec{B}$  – вектор магнітної індукції, Тл;  $\vec{\delta}$  – вектор густини струму, А/м<sup>3</sup>;  $\gamma$  – питома провідність, См/м;  $\mu$  – магнітна проникність середовища, Гн/м;  $t$  – час, с.

Доповнимо нашу систему рівня (2.1) границями та початковими умовами, щоб отримати початково-крайову задачу, розв'язавши яку пояснюючи процеси, що відбуваються в системі.

Результати, що при виконанні електромеханічної обробки механічні впливи зварних з'єднань можуть викликати зміну провідності металу, але враховуючи нетривалість цього процесу, будемо вважати, що провідність залишається незмінною.

Для спрощення рівня (2.1) введемо електроруйнівну силу  $\vec{A}$  та  $\varphi$  спростимо вихідну систему рівнянь. Відповідно на те, що  $\operatorname{div} \vec{B} = 0$ , можемо розрахувати векторний потенціал:

$$\vec{B} = \operatorname{rot} \vec{A}, \quad (2.2)$$

$$\operatorname{div} \vec{A} = 0. \quad (2.3)$$

Наступним кроком є підстановка (2.2) у наступне рівняння (2.1):

$$\operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial}{\partial t} \operatorname{rot} \vec{A} \quad \text{або} \quad \operatorname{rot} \left( \vec{E} + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \right) = 0.$$



Рис. 2.3. Меридіанний переріз електромагнітної системи

Аналізуючи останнє рівняння, ми бачимо, що це виявлене поле і для нього доступне скалярне поле  $\varphi, z$

$$\vec{E} + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} = -\text{grad}\varphi. \quad (2.4)$$

З рівняння (2.4) можна помітити таке рівняння:

$$\vec{E} = -\frac{\partial \vec{A}}{\partial t} - \text{grad}\varphi. \quad (2.5)$$

Далі з рівняння виразу (2.1) визначимо:

$$\text{rot}\vec{H} = \text{rot}(\mu^{-1}\vec{B}) = \text{rot}(\mu^{-1}\text{rot}\vec{A}) = \vec{\delta},$$

отже

$$\text{rot}(\mu^{-1}\text{rot}\vec{A}) = \vec{\delta}. \quad (2.6)$$

Далі, враховуючи всі співвідіння (2.1), визначимо рівень:

$$\vec{\delta} = -\gamma \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} - \gamma \text{grad}\varphi.$$

(2.7)

Рівняння (2.6), (2.7) будуть еквівалентними рівнянням Максвелла, поле що задовольняють вирази (2.6), (2.7), тоді магнітну індукцію, напруженість магнітного поля та напруженість електричного поля можна розрахувати таким

чином:

$$\vec{B} = \text{rot}\vec{A}; \quad \vec{H} = \mu^{-1}\vec{B}; \quad \vec{E} = \gamma^{-1}\vec{\delta}.$$

тоді у випадку підстановки рівнянь Максвелла вони повністю задовольняють його.

Знайдемо рівняння, яким повинні відповідати потенціали  $\vec{A}$  та  $\varphi$ , при цьому необхідно врахувати, що середовище яке розглядається є лінійним, ізотропним та також безгістерезисним. З огляду на описані вище спрощення визначимо, з рівняння (2.6):

$$\text{rot}\text{rot}\vec{A} = \mu\vec{\delta}. \quad (2.8)$$

відповідно до співвідношення векторного аналізу маємо

$$\text{rot}\text{rot}\vec{a} = \text{grad}(\text{div}\vec{a}) - \Delta\vec{a}, \quad (2.9)$$

отже

$$-\Delta\vec{A} + \text{grad}(\text{div}\vec{A}) = \mu\vec{\delta}.$$

Можливо врахувати (2.3), а разом з тим маємо рівняння для визначення зовнішнього потенціалу вигляду

$$\Delta A = -\mu\vec{\delta}. \quad (2.10)$$

Для визначення скалярного потенціалу розглянемо (2.5) і отримаємо:



$$\text{div} \vec{E} = -\frac{\partial}{\partial t} \text{div} \vec{A} - \text{div}(\text{grad} \varphi). \quad (2.11)$$

З огляду на те, що

$$\text{div} \vec{E} = \text{div} \left( \frac{\vec{\delta}}{\gamma} \right) = \frac{1}{\gamma} \text{div} \vec{\delta} = 0 \quad \text{і} \quad \text{div} \vec{A} = 0,$$

$$\text{отже} \quad \text{div}(\text{grad} \varphi) = 0.$$

Отже, для скалярного потенціалу маємо такий вираз:

$$\Delta \varphi = 0. \quad (2.12)$$

Наступним кроком є формулювання крайової задачі для розрахунку магнітного поля (рис. 2.3):

$$\Delta \vec{A} = -\mu_0 \vec{\delta}_W, \quad Q \in D_W, \quad (2.13)$$

$$\Delta \vec{A} = -\mu_0 \vec{\delta}_q, \quad Q \in D_q, \quad q=1,2,3, \quad (2.14)$$

$$\Delta \vec{A} = 0, \quad Q \in D_0, \quad (2.15)$$

де  $\vec{\delta}_W$  – щільність струму в обмотці індуктора  $D_W$ , А/м<sup>2</sup>;  $\vec{\delta}_q$  – густина струму

в зоні провідника  $D_q$ , А/м<sup>3</sup>;  $q=1,2,3$ ;  $D_0$  – зовнішній простір.

Отже, граничні умови для векторного потенціалу на границі тіл  $S_{qm}$  між  $l$ -им а також  $m$ -им  $q, m=0,1,2,3$ , тілом представляються в наступному вигляді:

$$[\vec{n}_Q, \vec{A}^-] = [\vec{n}_Q, \vec{A}^+], \quad [\vec{n}_Q, \text{rot} \vec{A}^-] = [\vec{n}_Q, \text{rot} \vec{A}^+], \quad Q \in S \cup S_W, \quad (2.16)$$

де  $\vec{A}^+, \vec{A}^-$  – граничні значення заданого векторного потенціалу,  $\vec{n}_Q$  – зовнішня розрахункова нормаль;  $S$  – границя об'ємного провідника, що розглядається,  $S = S_{10} \cup S_{12} \cup S_{20} \cup S_{13} \cup S_{30}$  (рис. 2.3).

Граничні умови для скалярного потенціалу виражаються у вигляді:

$$\varphi^+ = \varphi^- \quad \text{на} \quad S, \quad (2.17)$$

де  $\varphi^+$ ,  $\varphi^-$  – значення скалярного потенціалу, обчислене в точці  $Q \in S$  в разі наближення масивного провідника  $D_q$ ,  $q=1,2,3$ .

Далі, розглядаючи безперервність нормальної складової густини струму на межі масивного об'єкта, розглянемо такий вираз:

$$\text{Де } (\vec{\delta}^+, \vec{n}_Q) = (\vec{\delta}^-, \vec{n}_Q) \text{ на } S$$

$$-\gamma^+ \frac{\partial A_{n_Q}^+}{\partial t} - \gamma^+ \frac{\partial \varphi^+}{\partial n_Q} = -\gamma^- \frac{\partial A_{n_Q}^-}{\partial t} - \gamma^- \frac{\partial \varphi^-}{\partial n_Q}, Q \in S, \quad (2.18)$$

тут  $A_{n_Q}^+$  ( $A_{n_Q}^-$ ) – значення проекції векторного потенціалу на розрахункову нормаль  $\vec{n}_Q$  саме у точці  $Q \in S$  в разі наближенні до неї масивного провідника

$D_q$ ,  $q=1,2,3$ ;  $\partial \varphi^+ / \partial n_Q$  ( $\partial \varphi^- / \partial n_Q$ ) – похідна від скалярного електричного

потенціалу при наближенні до точки  $Q \in S$  із боку масивного провідника що розглядається  $D_q$ ,  $q=1,2,3$ ;  $\vec{n}_Q$  – нормаль до границі деякого масивного провідника  $D_q$ ,  $q=1,2,3$ ;  $\gamma^+$ ,  $\gamma^-$  – питома провідність металу стосовно границі

деякої області  $S$ .

Отже, тривимірне формулювання вектора магнітного потенціалу і скалярного значення потенційного потенціалу до наступної задачі (рисунок 2.3):

$$\Delta \vec{A} = -\mu_0 \vec{\delta}_W, Q \in D_W; \quad (2.19)$$

$$\Delta \vec{A} = -\mu_0 \vec{\delta}_q, Q \in D_q, q=1,2,3; \quad (2.20)$$

$$\Delta \vec{A} = 0, Q \in D_0; \quad (2.21)$$

$$[\vec{n}_Q, \text{rot} \vec{A}^-] = [\vec{n}_Q, \text{rot} \vec{A}^+], Q \in S; \quad (2.22)$$

$$[\vec{n}_Q, \vec{A}^-] = [\vec{n}_Q, \vec{A}^+], Q \in S; \quad (2.23)$$

$$\Delta \varphi_q = 0, Q \in D_q, q=1,2,3; \quad (2.24)$$

$$\varphi^- = \varphi^+ \text{ на } S; \quad (2.25)$$

$$\gamma_2 \frac{\partial A_{n_Q}^+}{\partial t} - \gamma_2 \frac{\partial \varphi^+}{\partial n_Q} = \delta_{n_Q}^+ \text{ на } S_{20}^+; \quad (2.26)$$

$$-\gamma_3 \frac{\partial A_{n_Q}^+}{\partial t} - \gamma_3 \frac{\partial \varphi^+}{\partial n_Q} = \delta_{n_Q}^- \text{ на } S_{30}^-, \quad (2.27)$$

$$\gamma^+ \frac{\partial A_{n_Q}}{\partial t} - \gamma^+ \frac{\partial \varphi^+}{\partial n_Q} = \gamma \frac{\partial A_{n_Q}}{\partial t} - \gamma^- \frac{\partial \varphi^-}{\partial n_Q}, Q \in S; \quad (2.28)$$

$$\bar{\delta}_w(M, t) = \bar{\delta}_w^{(0)}(M), \quad \bar{\delta}(M, t) = \bar{\delta}^{(0)}(M) \quad (2.29)$$

$$A(\infty) = 0. \quad (2.30)$$

де  $S_{20}^+$ ,  $S_{30}^-$  — шматки границь  $S_{20}^+$ ,  $S_{30}^-$ , де задано значення компонента густини розрахункового струму  $\delta_{n_Q}^+$  і  $\delta_{n_Q}^-$ .

За відомого струму в розрядному колі модуль густини струму в точці контакту можна розрахувати як:

$$\delta_{n_Q}^+(t) = -\frac{j_w(t)}{S_{20}^+}, \quad \delta_{n_Q}^-(t) = \frac{j_w(t)}{S_{30}^-}, \quad (2.31)$$

де  $S_{20}^+$ ,  $S_{30}^-$  — площа контакту в розрахунковій області  $S_{20}^+$ ,  $S_{30}^-$ .

Розв'яжемо крайову задачу (2.19)-(2.30). При цьому векторний магнітний потенціал буває вигляду:

$$A(Q, t) = \frac{\mu_0}{4\pi D} \int \frac{\bar{\delta}(M, t)}{r_{QM}} dV_M + \frac{\mu_0}{4\pi D_w} \int \frac{\bar{\delta}_w(M, t)}{r_{QM}} dV_M, \quad (2.32)$$

Він повністю задовольняє вирази (2.19) – (2.21) і граничні умови (2.22), (2.23). Підставляючи вираз для економічного магнітного потенціалу (2.32) у рівні (2.7), отримуємо інтегро-диференціальне рівняння (інтегроване в просторі, диференціальне в часі) для густини вихрового струму в масивному провіднику:

$$\frac{\bar{\delta}_q(Q, t)}{\gamma_q \lambda} + \frac{\partial}{\partial t} \int \frac{\bar{\delta}(M, t)}{r_{QM}} dV_M + \frac{1}{\lambda} \text{grad} \varphi(Q, t) = - \frac{\partial}{\partial t} \int \frac{\bar{\delta}_w(M, t)}{r_{QM}} dV_M; \quad (2.33)$$

$Q \in D_q, q=1, 2, 3,$

Отже  $\lambda = \mu_0 / (4\pi)$ .

Вектор магнітної індукції можна обчислити за допомогою наступного виразу:

$$\vec{B}(Q,t) = \frac{\mu_0}{4\pi D_w} \int \frac{[\vec{r}_{QM}, \vec{\delta}_w(M,t)]}{r_{QM}^3} dV_M + \frac{\mu_0}{4\pi D} \int \frac{[\vec{r}_{QM}, \vec{\delta}(M,t)]}{r_{QM}^3} dV_M, \quad (2.34)$$

де  $\vec{r}_{QM}$  – вектор, що надходить з точки  $Q$  в ємне точку  $M$ .

Для розрахунку  $grad\phi(Q,t)$  необхідно вирішувати задачу (2.24) – (2.28).

Розв'язуємо рівняння (2.24) через електричний потенціал розрахованого зарядного шару:

$$\phi(Q,t) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{\sigma(M,t)}{r_{QM}} dS_M, \quad (2.35)$$

де  $\phi(Q,t)$  – значення скалярного електричного потенціалу в точці розрахунку  $Q$ ;

$\sigma(M,t)$  – значення густини шару електричних зарядів у точці  $M$  на розрахунковій границі  $S$ ;  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м – електрична стала.

Необхідно отримати, що відповідають наступним граничним умовам (2.25).

Щоб розв'язати рівняння (2.35) у термінах граничних умов (2.28), ми використовуємо теорему про стрибок похідного потенціалу шару [171], і вираз має такий вигляд:

$$\frac{\partial\phi^-}{\partial n_Q} = -\frac{\sigma(Q,t)}{2\epsilon_0} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{\sigma(M,t) (\vec{r}_{QM}, \vec{n}_Q)}{r_{QM}^3} dS_M, \quad (2.36)$$

$$\frac{\partial\phi^+}{\partial n_Q} = \frac{\sigma(Q,t)}{2\epsilon_0} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{\sigma(M,t) (\vec{r}_{QM}, \vec{n}_Q)}{r_{QM}^3} dS_M. \quad (2.37)$$

Отже, знаходимо таку систему інтегральних рівнянь:

$$\sigma(Q,t) + \frac{\gamma^+ - \gamma^-}{\gamma^+ + \gamma^-} \frac{1}{2\pi_s} \int \frac{\sigma(M,t) (\vec{r}_{QM}, \vec{n}_Q)}{r_{QM}^3} dS_M = -2\epsilon_0 \frac{\gamma^+ - \gamma^-}{\gamma^+ + \gamma^-} \frac{\partial A_{n_Q}}{\partial t}, \quad Q \in S. \quad (2.38)$$

Підставляючи рівняння (2.32) для векторного потенціалу у вираз (2.38),

маємо:

$$\begin{aligned} & \frac{\chi(Q)\mu_0\varepsilon_0}{2\pi} \frac{\partial}{\partial t} \int_D \frac{(\vec{\delta}(M,t), \vec{n}_Q)}{r_{QM}} dV_M + \sigma(Q,t) + \frac{\chi(Q)}{2\pi} \int_S \frac{\sigma(M,t) (\vec{r}_{QM}, \vec{n}_Q)}{r_{QM}^3} dS_M = \\ & = -\frac{\chi(Q)\mu_0\varepsilon_0}{2\pi} \frac{\partial}{\partial t} \int_{D_w} \frac{(\vec{\delta}_w(M,t), \vec{n}_Q)}{r_{QM}} dV_M, Q \in S, \end{aligned} \quad (2.39)$$

де  $\chi(Q) = (\gamma^+(Q) - \gamma^-(Q)) / (\gamma^+(Q) + \gamma^-(Q))$ ,  $Q \in S$ ;  $\gamma^+(Q)$ ,  $\gamma^-(Q)$  — значення провідності матеріалу розрахункової границі  $S$  а також точки  $Q \in S$ .

Задовільняючи рівняння (2.35) із заданими граничними умовами (2.37),

(2.38), до рівняння (2.39) додаємо наступний вираз:

$$\begin{aligned} & \frac{\mu_0\varepsilon_0}{2\pi} \frac{\partial}{\partial t} \int_D \frac{(\vec{\delta}(M,t), \vec{n}_Q)}{r_{QM}} dV_M + \sigma(Q,t) + \frac{1}{2\pi} \int_S \frac{\sigma(M,t) (\vec{r}_{QM}, \vec{n}_Q)}{r_{QM}^3} dS_M = \\ & = -\frac{\mu_0\varepsilon_0}{2\pi} \frac{\partial}{\partial t} \int_{D_w} \frac{(\vec{\delta}_w(M,t), \vec{n}_Q)}{r_{QM}} dV_M - \frac{2\varepsilon_0}{\gamma_1} \delta_{n_Q}^+(t), Q \in S_{20}^+; \end{aligned} \quad (2.40)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\mu_0\varepsilon_0}{2\pi} \frac{\partial}{\partial t} \int_D \frac{(\vec{\delta}(M,t), \vec{n}_Q)}{r_{QM}} dV_M + \sigma(Q,t) + \frac{1}{2\pi} \int_S \frac{\sigma(M,t) (\vec{r}_{QM}, \vec{n}_Q)}{r_{QM}^3} dS_M = \\ & = -\frac{\mu_0\varepsilon_0}{2\pi} \frac{\partial}{\partial t} \int_{D_w} \frac{(\vec{\delta}_w(M,t), \vec{n}_Q)}{r_{QM}} dV_M - \frac{2\varepsilon_0}{\gamma_3} \delta_{n_Q}^+(t), Q \in S_{30}^-. \end{aligned} \quad (2.41)$$

З огляду на те, що

$$\text{grad}\phi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \int_S \frac{\sigma(M,t) \vec{r}_{QM}}{r_{QM}^3} dS_M,$$

перепишемо вираз (2.33) в іншому варіанті:

$$\begin{aligned} & \frac{\vec{\delta}_q(Q,t)}{\gamma_q} + \frac{\partial}{\partial t} \int_D \frac{\vec{\delta}(M,t)}{r_{QM}} dV_M - \frac{1}{\mu_0\varepsilon_0} \int_S \frac{\sigma(M,t) \vec{r}_{QM}}{r_{QM}^3} dS_M = \frac{\partial}{\partial t} \int_{D_w} \frac{\vec{\delta}_w(M,t)}{r_{QM}} dV_M; \\ & Q \in D_q, q=1,2,3. \end{aligned} \quad (2.42)$$

Таким чином, система інтегро-диференціальних рівнів спеціально для густини вихрових струмів і густини шару простого заряду збільшується наступним чином:

$$\frac{\bar{\delta}_q(Q,t)}{\gamma_q \lambda} \frac{\partial}{\partial t} \int_{r_{QM}} \bar{\delta}(M,t) dV_M - \frac{1}{\epsilon_0 \mu_0 s} \int_{Q \in D_q, q=1,2,3} \sigma(M,t) \frac{\bar{r}_{QM}}{r_{QM}^3} dS_M - \frac{\partial}{\partial t} \int_{r_{QM}} \bar{\delta}_w(M,t) dV_M, \quad (2.43)$$

$$\frac{\chi(Q) \mu_0 \epsilon_0}{2\pi} \frac{\partial}{\partial t} \int_{r_{QM}} \frac{(\bar{\delta}(M,t), \bar{n}_Q)}{r_{QM}} dV_M + \sigma(Q,t) + \frac{\chi(Q)}{2\pi s} \int_{S} \sigma(M,t) \frac{(\bar{r}_{QM}, \bar{n}_Q)}{r_{QM}^3} dS_M =$$

$$= \frac{\chi(Q) \mu_0 \epsilon_0}{2\pi} \frac{\partial}{\partial t} \int_{r_{QM}} \frac{(\bar{\delta}_w(M,t), \bar{n}_Q)}{r_{QM}} dV_M - F(Q,t),$$

$$Q \in S \cup S_{20}^+ \cup S_{30}^-, \quad (2.44)$$

$$\bar{\delta}_w(M,t) = \bar{\delta}_w^{(0)}(M), \quad \bar{\delta}(M,t) = \bar{\delta}^{(0)}(M), \quad \sigma(M,t) = \sigma^{(0)}(M), \quad (2.45)$$

при цьому

$$\chi(Q) = \begin{cases} \frac{\gamma^+(Q) - \gamma^-(Q)}{\gamma^+(Q) + \gamma^-(Q)}, & \text{якщо } Q \in S; \end{cases} \quad (2.46)$$

$$1, \quad \text{якщо } Q \in S_{20}^+ \cup S_{30}^-;$$

$$0, \quad \text{якщо } Q \in S;$$

$$F(Q,t) = \begin{cases} \frac{2\epsilon_0}{\gamma_1} \delta_{n_Q}^+(t), & \text{якщо } Q \in S_{20}^+; \end{cases} \quad (2.47)$$

$$\frac{2\epsilon_0}{\gamma_2} \delta_{n_Q}^-(t), \quad \text{якщо } Q \in S_{30}^-.$$

Розглянута система рівнянь (2.43) - (2.44) повинна доповнювати рівняння для

мігтевих значень струму і напруги в розрядному ланцюзі відповідно до іншого

закона Кірхгофа:

система рівнянь до моменту  $t_1$  переходу знаку через діод  $VD$ ,

$$j_w(t) R_k + \frac{d\Psi(t)}{dt} + \frac{1}{C_0} \int j_w(t) dt + u_c(0_+) = 0, \quad 0 < t < t_1, \quad (2.48)$$

$$j_w(0_+) = j_w(0_-) = 0, \quad u_c(0_+) = u_c(0_-); \quad (2.49)$$

після моменту  $t_1$  переходу знаку через діод  $VD$ ,

$$j_w(t) R_k + \frac{d\Psi(t)}{dt} = 0, \quad t_1 < t, \quad (2.50)$$

$$j_w(t_1) = j_w(t_1) = 0. \quad (2.51)$$

де  $j_w(t) = \delta_w(t) \Delta S_w$  – струм у індуктивності котушки  $D_w$ ;  $S_w$  – площа витка котушки індуктивності;  $\Psi(t)$  – потокозчеплення магнітного поля;  $u_c(0_-)$  – початкове

значення напруги на конденсаторі  $C$ . Після чисельного обчислення системи рівня (2.43)–(2.51) знаходимо густину струму в кожному провіднику, від якої електромагнітна сила, що діє на електроді, з комбінованими дисками тощо, та інші параметри конструкції електромеханічної системи [17].

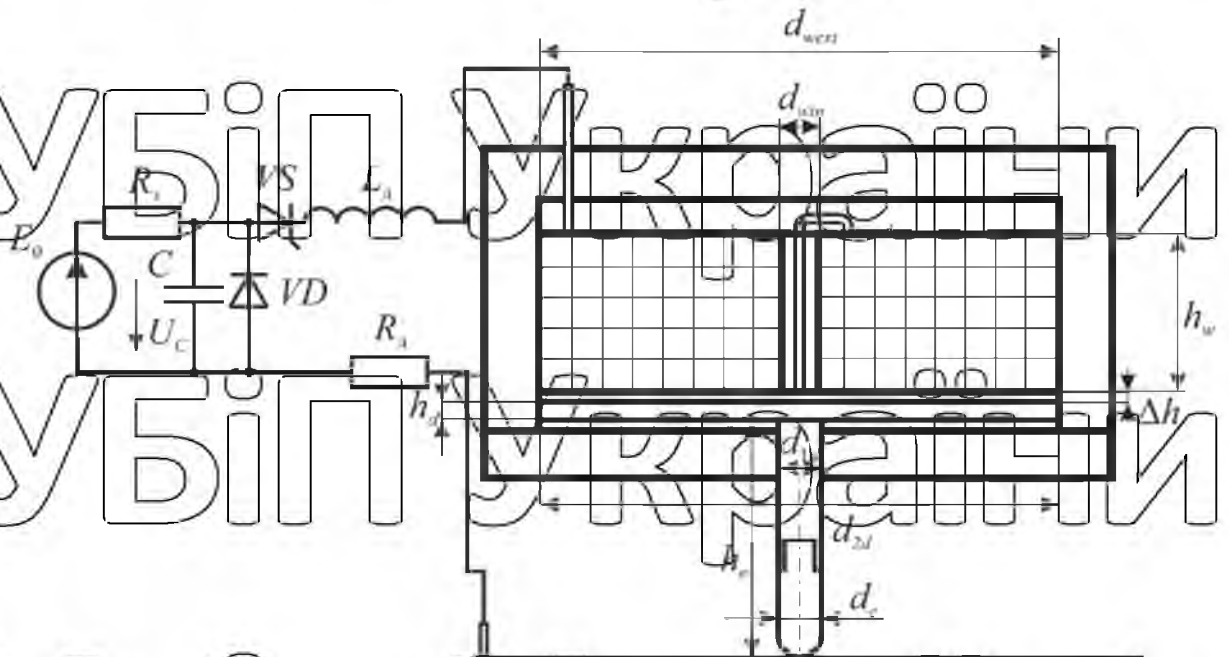


Рис. 2.4. Параметри електротехнічної системи для електродинамічної обробки

Результати розрахунків електромагнітної системи були підтверджені експериментальними дослідженнями, які проводилися спільно на зразках системи розробки. Метою дослідження є вивчення процесу розряду в розрядному контурі та порівняння експериментальних результатів із значеннями, отриманими при розрахунку. Технічні характеристики та параметри електричної системи електричної обробки зварним з'єднань (рис. 2.4) наведені в таблиці. 2.1.

# НУБІП України

# НУБІП України

Таблиця 2.1  
 Параметри електротехнічної системи для електродинамічної обробки

## зварних з'єднань

Генератор імпульсів струму		
Ємність конденсатора	$C$	5140 мкФ
Напруга на ємності	$U_C$	500 В
Додаткова індуктивність	$L_d$	9 мкГн
Опір зеднувальних провідників	$R_d$	15 мОм
Електромеханічний перетворювач		
Внутрішній радіус котушки індуктивності	$d_{win} = 2R_1$	20 мм
Зовнішній радіус котушки індуктивності	$d_{wext} = 2R_2$	92 мм
Висота котушки індуктивності	$h_w$	6 мм
Кількість витків в обмотці котушки індуктивності	$w$	18
Геометричний розмір проводу, обмотки котушки індуктивності	$S_{пр.}$	1,5x1,5 мм <sup>2</sup>
Коефіцієнт заповнення котушки індуктивності	$K_p$	0,7
Проміжок між котушкою індуктивності та диском	$\Delta h$	0,5 мм
Діаметр диска	$d_{2d} = 2R_{2d}$	90 мм
Товщина диска	$h_d$	8 мм
Діаметр електрода	$d_e$	8 мм
Висота електрода	$h_e$	40 мм
Діаметр контактної площадки	$S_{конт.}$	2 мм <sup>2</sup>
Активний опір котушки індуктивності	$R_k$	5,46 мОм
$\gamma_1 = 5,95 \cdot 10^7$ См/м – електропровідність диска, $\gamma_2 = 1,89 \cdot 10^7$ См/м – електропровідність електрода, $\gamma_3 = 3,74 \cdot 10^7$ См/м – електропровідність металу, зварного зеднання.		



на рис. 2.5, показано залежність між струмом і часом протікання імпульсу, параметри наступні:  $U_c = 500$  В,  $C = 5140$  мкФ,  $L = 9$  мГн. Активний опір

розрядного кола  $R$  складається з опору зеднувальних провідників  $R_d = 15$  мОм

а також опора котушки індуктивності та складає  $R_k = 5,46$  мОм

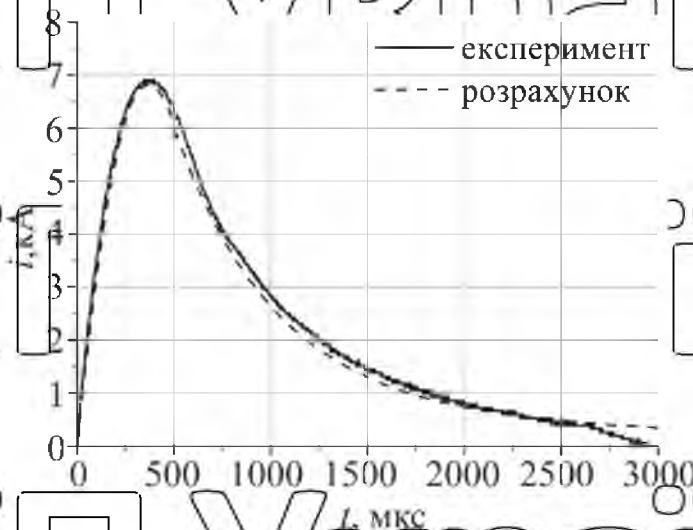


Рис. 2.5. Результати розрахунків та експериментальних вимірювань сили струму розрядного кола системи електрообробки зварного з'єднання.

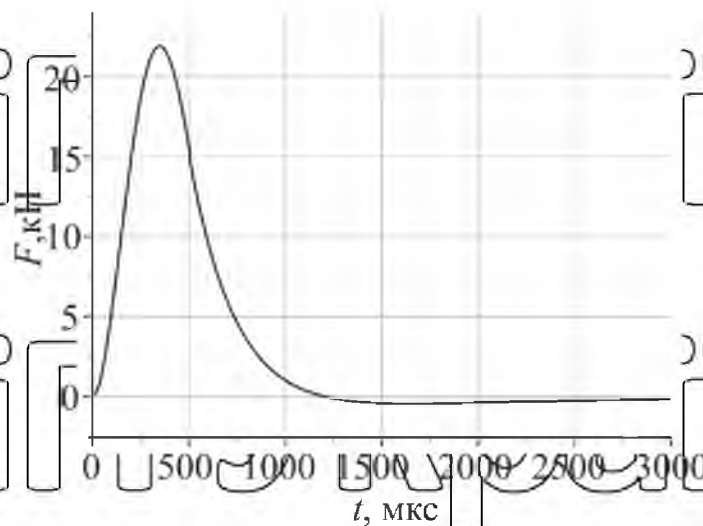


Рис. 2.6. Результати розрахунку електромагнітної сили між струмом в обмотці котушки і вихровим струмом в диску

Враховуючи цей процес дослідження, можна розмістити величину струму в розрядному колі і тривалість імпульсу струму, на рис. 2.6 зображено графік

електродинамічної сили, який досягається наварюванням електродів на з'єднання.

Аналізуючи проведені дослідження, отримані графіки та результати визначення значення струму під час перехідного процесу кола, можна побачити,

що даний показник узгоджується (середня квадратична похибка  $< 3\%$ ), а

електродинамічний тиск сили електрода на зварному з'єднанні 22 кН, що дорівнює Максимальне значення розрахункового значення струму дорівнює.

Також необхідно отримати, що величина негативної сили незначна, що виправдовує використання діодів [18-19]. При розрахованих технічних

параметрах система має саме  $I_{\max} \approx 7 \text{ кА}$  і  $F_{\max} \approx 22 \text{ кН}$  розподіл густини струму в зварному з'єднанні представлено на рис. 2.7

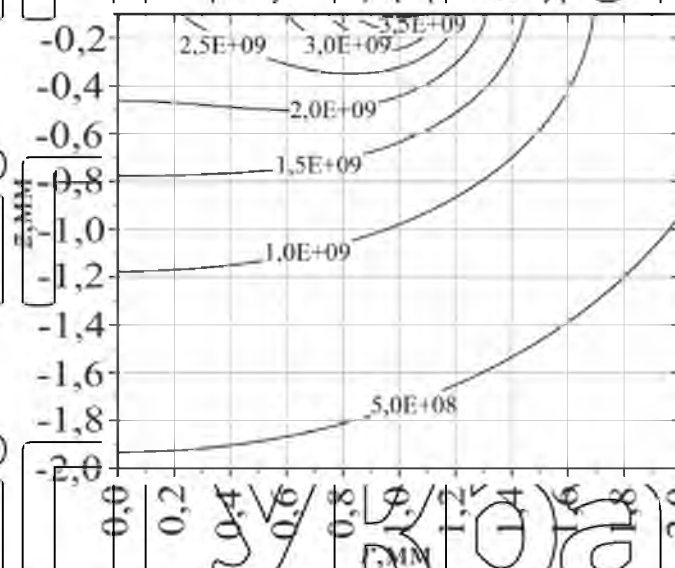


Рис. 2.7. Розподіл густини струму в зоні контакту між електродом і зварним з'єднанням

На графіку показані межі областей, де густина струму перевищує вказане значення. Аналізуючи те, що ми бачимо, щільність струму перевищує  $100 \text{ А/мм}^2$  в області половини еліпсоїда з віссю 3,4 мм і піввіссю 1,2 мм, мабуть,

ініціюючи електропластичні ефекти в цій області.

## РОЗДІЛ 3. ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

Враховуючи проведені розрахунки, електротехнічна система (рис. 2.1) складається з електромеханічного перетворювача індуктивного типу та джерела імпульсу струму в залежності від структурно-електричних режимних характеристик системи, які не дозволяють реалізувати параметри імпульсу струму, що є ефективною реалізацією необхідної для лінкера електрообробки зварювання [18].

Особливістю цієї системи є реалізація електродинамічної обробки, яка внаслідок одночасної дії електроруйнівної сили та електричного струму.

Очевидно, що величина і тривалість розрядного струму буде змінюватися в залежності від параметрів розрядного кола, а саме: активного опору, індуктивності, ємності та напруги. Змінюючи величину розрядного струму, його значення в цьому випадку впливає на конструктивні розміри елементів розрядного кола, а саме індуктора та диска з нерухомими електродами.

### 3.1. Параметри електромеханічного перетворювача

У загальному вигляді всі структурні параметри відміченої електричної системи можна розділити на структурні параметри та електричні параметри.

Перший параметр, очевидно, включає в себе геометричні параметри всієї електромагнітної системи, що складається з котушок, дисків і електродів.

Що стосується геометричних параметрів котушки, то їх можна виразити як: внутрішній діаметр, зовнішній діаметр, висота, кількість витків, коефіцієнт наповнення тощо. Отже, від змін цих параметрів буде змінюватися індуктивність і активний опір котушки індуктора, що неминуче позначається на тривалості розрядного імпульсу, амплітуді струму і характері розряду. Електроруйнівна сила, яка притискає електрод до зварного з'єднання. Підсумовуючи, конструкція котушки індуктивності більшою величиною електроруйнівної сили, необхідної

для електрода на зварному шві, і параметрами струму в розрядній петлі. Маючи це на увазі, індуктор складається з кількох секцій, розташованих послідовно, з однією котушкою, розміщеною в електромагнітній системі для створення електрорушійної сили, і другою котушкою, розміщеною в основному корпусі джерела живлення для її регулювання. При цьому індуктор є плоским, щоб

забезпечити максимальну взаємодію струму з вихровими струмами, створюваними диском. Крім того, розмір самої котушки індуктивності визначається загальним розміром системи. Завданням наступного дослідження

було визначення геометричних розмірів диска, а також відстані між диском і

котушкою, яка б забезпечувала силу взаємодії між струмом в індукційній котушці та індуктованими вихровими струмами в індукційній котушці. Диск;

визначити необхідну площу контакту електрода зі зварним з'єднанням, якщо необхідно забезпечити максимальний об'єм металу в зварному з'єднанні.

Розраховано структурні параметри електричної системи, наведені в таблиці 3.1.

На малюнку 3.1 показано величину електрорушійної сили, яку пластина взаємодіє з котушкою індуктора, як функцію товщини та діаметра пластини.

Етапи поділу розрахункової площі, необхідної для диска, такі: спочатку розрахунок виконується за значенням 1 мм по його радіусу, зменшуючи по

товщині до 0,5 мм. Визначити необхідне значення ЕМ сили для заданих двох варіантів, враховуючи, що середньоквадратичне відхилення значення ЕМ сили в першому варіанті відрізняється від її значення в наступному варіанті на 1%.

Крім того, розрахунок виконується з кроком ділення обчисленої площі диска, тобто 0,5 мм.

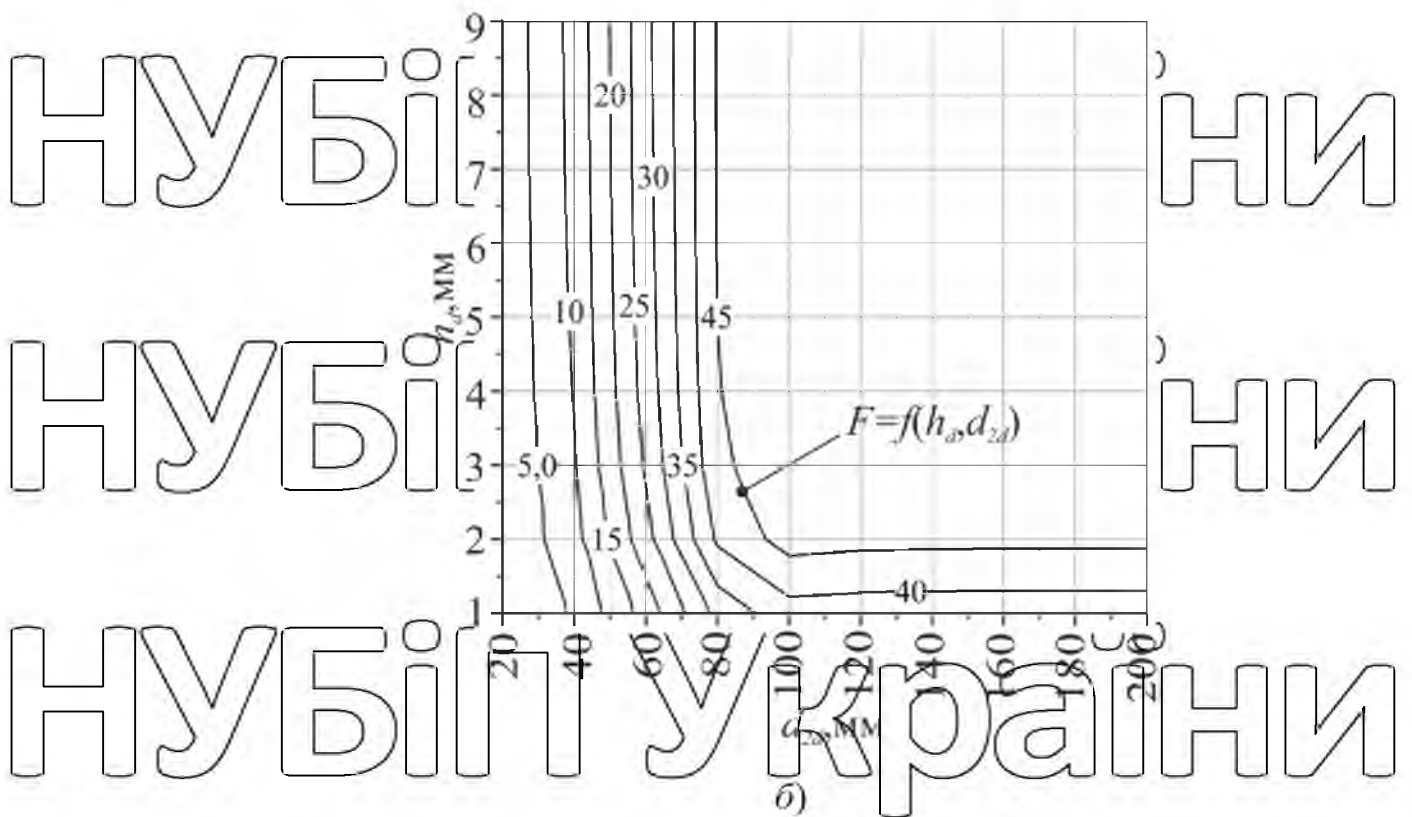
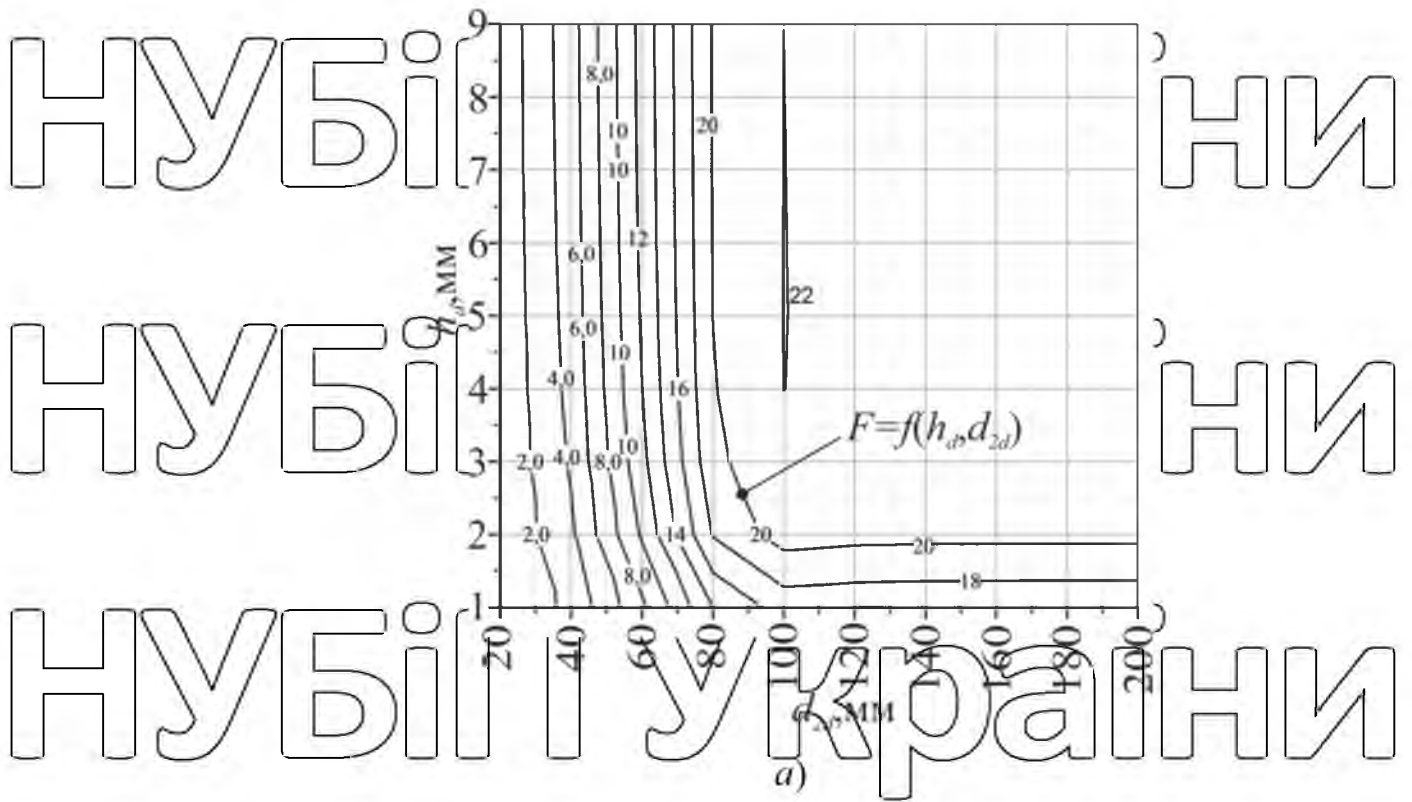


Рис. 3.1 Залежність величини електромагнітної сили (кН), що діє на диск, в залежності від товщини і діаметра диска.  $h_d$  – товщина диска,  $d_{2d}$  – зовнішній діаметр диска ( $a$  – напруга на ємності 500 В,  $b$  – напруга на ємності 750 В).

Отримані після аналізу значення наведені на рис. 3.1, ми гарантуємо, що величина електрошумної сили залишається незмінною у випадку товщини

диска більше 4 мм, крім того, діаметр диска не повинен збільшуватися на значення більше 100 мм. З цієї причини вибір діаметра диска, більшого за розмір індуктора, не призведе до збільшення електрорушійної сили. Крім того, необхідно враховувати, що величина збільшення величини електрорушійної сили залежить від величини напруги на конденсаторі, яка відбувається швидше за квадратичним законом. На малюнку 3.2 показано миттєве значення струму в ланцюзі і миттєве значення електромагнітної сили, що впливає на вихрові струми в диску, відносно струму в обмотці котушки в залежності від різних значень товщини диска.

Таким чином, можна сказати, що миттєва сила струму і миттєва величина електромагнітної сили при товщині диска понад 3 мм не змінюються з часом. Слід врахувати, що в проведених розрахунках діаметр диска вдвічі більший за зовнішній діаметр котушки індуктора, і впливом крайових ефектів слід знехтувати. на рис. 3.3 Подібна фігура. 3.2 Розрахунок, змініть лише зовнішній діаметр диска з тією ж товщиною,  $m=3$  мм. Аналіз отриманих результатів може чітко показати, що миттєва сила струму та миттєве значення електромагнітної сили для зовнішнього діаметра диска більше 100 мм будуть дорівнювати зовнішньому діаметру індукційної котушки і не змінюватимуться з часом. . При цьому величина електрорушійної сили буде залежати від величини зазору між диском і індуктором. на рис. 3.4 показаний графік залежності величини електромагнітної сили, що діє на диск, від зазору між котушкою і диском для декількох значень напруги на конденсаторі 500 В (рис. 3.4, а) і 700 В. V (рис. 3.4, б). Аналізуючи отримані результати, можна з упевненістю зазначити, що зменшення амплітуди електрорушійної сили зумовлене збільшенням індуктивності котушки індуктивності за одночасного зменшення амплітуди імпульсного струму в колі.

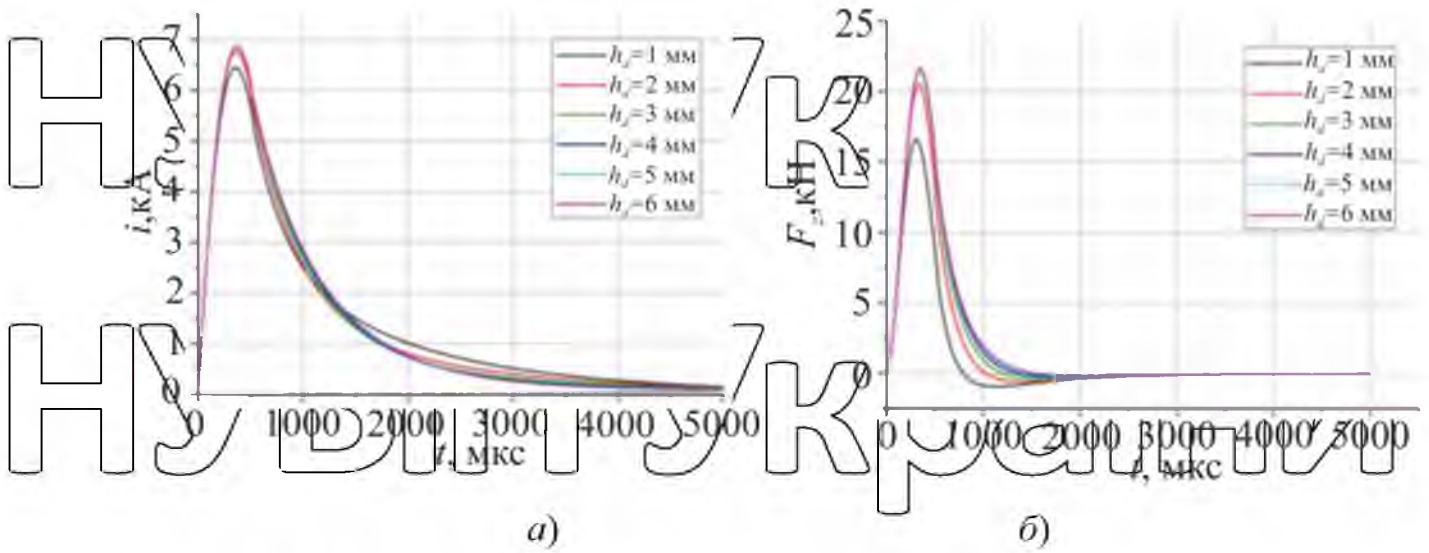


Рис. 3.2. залежність миттєвого значення струму (а) і миттєвого значення електромагнітної сили (б) в ланцюзі розряду в залежності від значення товщини різних дисків. (зовнішній діаметр диска складає  $a_{2d} = 200$  мм).

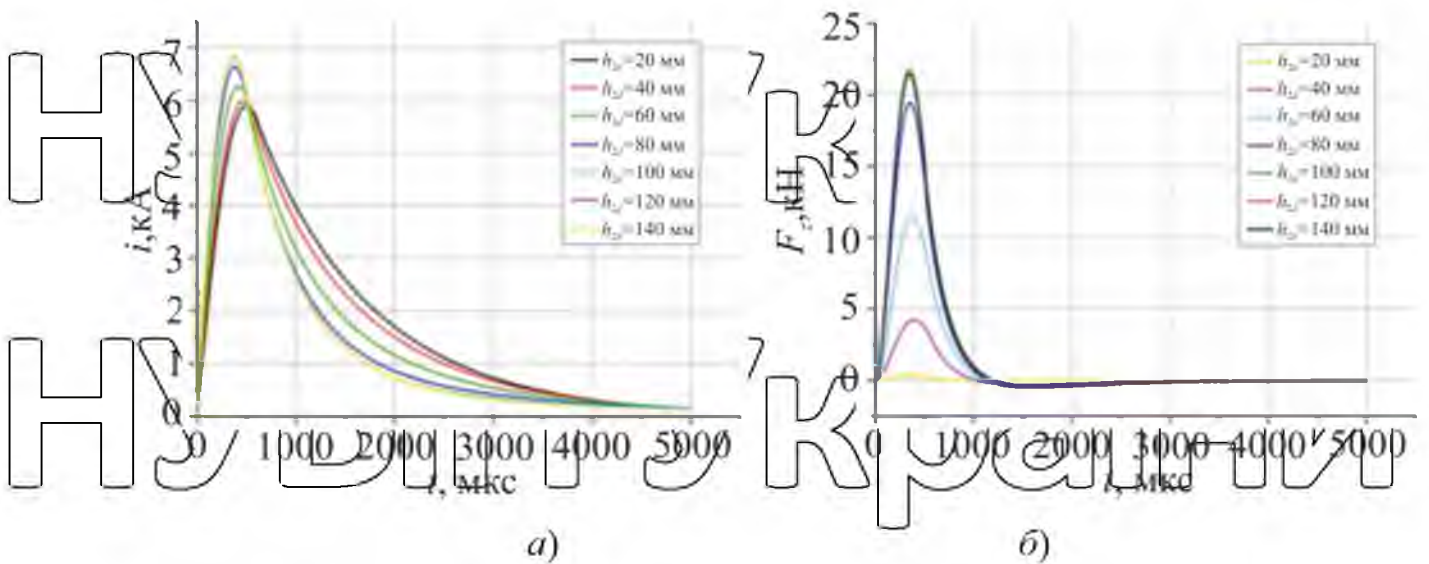


Рис. 3.3. Співвідношення миттєвого значення струму (а) в колі і миттєвого значення електромагнітної сили (б), що впливає на вихрові струми в масивному диску, в залежності від величини зовнішнього діаметра диска (товщина диска складає  $h_d = 3$  мм).

НУБІП України

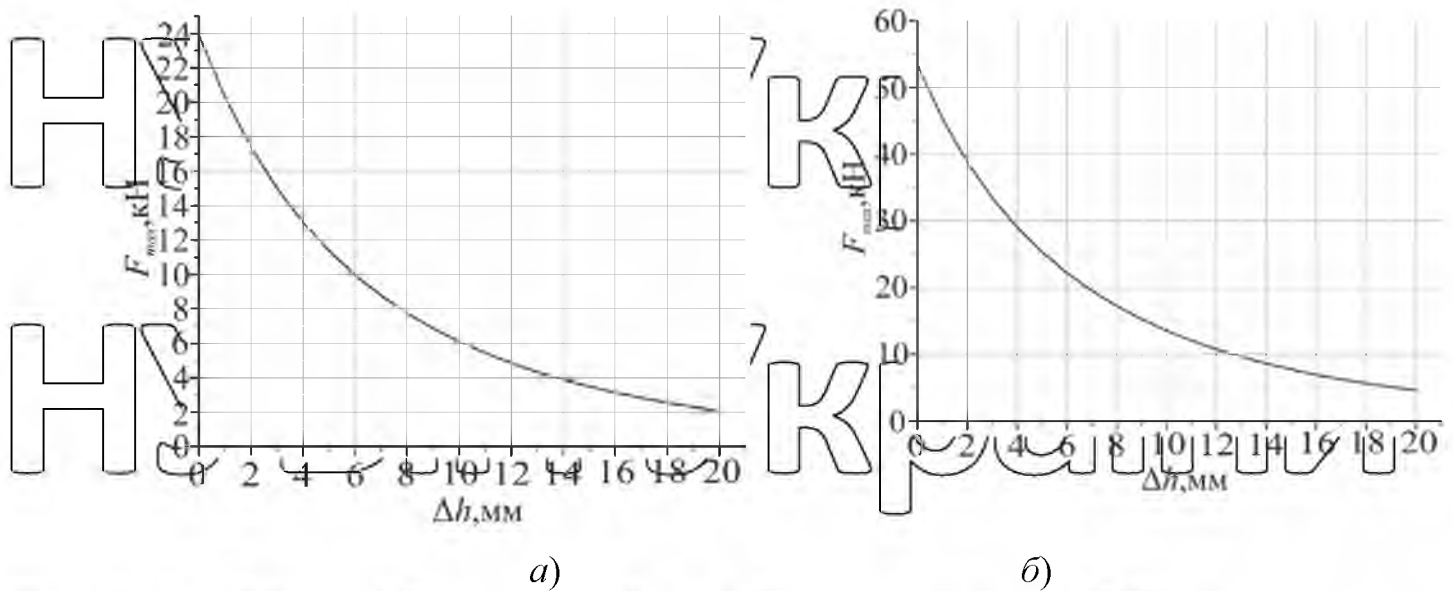


Рис. 3.4. Співвідношення величини електромагнітної сили, що діє на диск, залежно від зазору між диском і котушкою індуктивності, використовується для зміни напруги на конденсаторі а) 500 В; б) 750 В.

Слід враховувати, що важливим аспектом у конструктивних параметрах електромеханічного перетворювача є геометрія електродів. Важливо розглянути це питання, враховуючи, що ефективність електромеханічної обробки визначається не величиною розрядного струму, а щільністю площі контакту між електродом і зварним з'єднанням. Щільність струму, при якій дія електропластичного деформування, як відомо, становить приблизно  $\sim 100 \text{ А/м}^2$ , призводить до підвищення статичної та зтомної міцності зварного з'єднання, а також стану релаксації напружено-деформованого стану. на рис. 3.5, візьмемо як приклад лінії значення, в якому розподіл густини струму зварного з'єднання в

зоні контакту виражено через час, що буде відповідати максимальному значенню для кількох значень контактної поверхні струму в нолі має зібраний вище параметр електромеханічного перетворювача. Залежності 4.5, а - 4.5, г являють собою круглі контакти з діаметрами 0,5 мм, 1 мм, 2 мм, 3 мм і 4 мм відповідно. Наведена взаємозалежність дає можливість використовувати об'єм зварних з'єднань із густиною струму, що перевищує значення  $\text{А/м}^2$ , що





Рис. 3.5. Залежності рівня густини струму  $i=f(z,r)$  ( $\times 10^9$  А/м<sup>2</sup>) у зварному з'єднанні за діаметра площі контакту в: а) 0,5 мм, б) 1 мм, в) 2 мм, г) 3 мм; а також д) 4 мм

на рис. 4.6 наведено об'ємну залежність площі зварного з'єднання, де густина струму більше значення в  $10^9$  А/м<sup>2</sup>, в залежності від діаметра площі контакту електрода зі зварним з'єднанням, а графік складений за (250, 500, 750 В) конденсатори в значення напруги на колі, миттєве значення сили струму в колі.

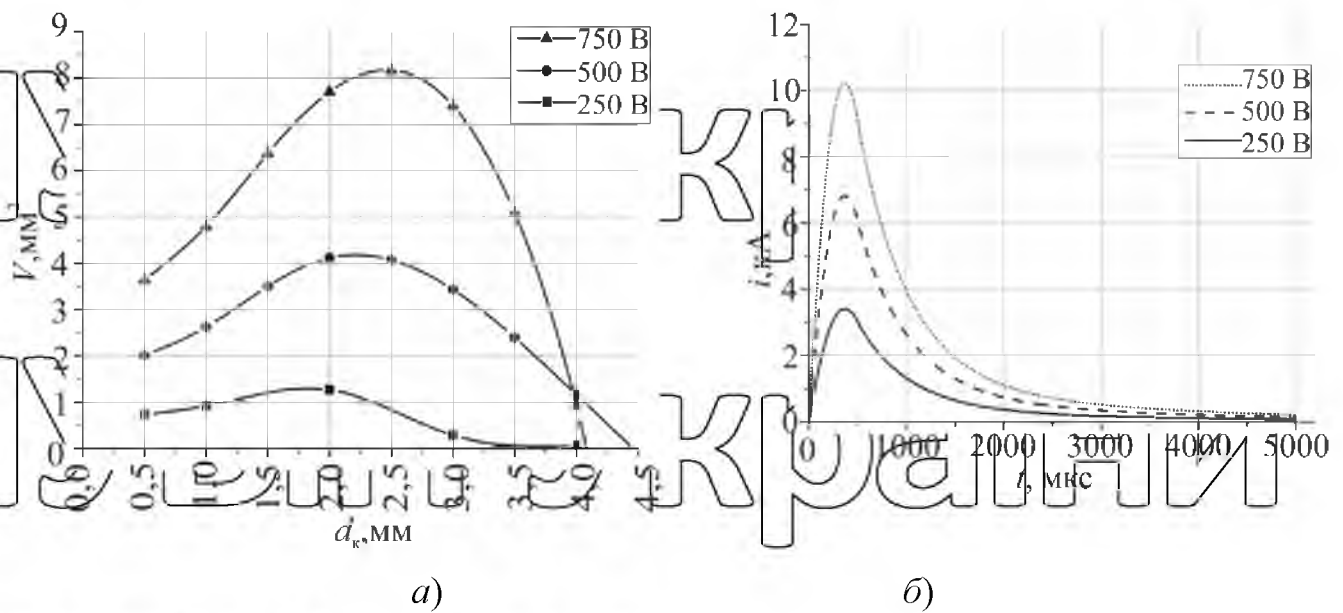


Рис. 4.6. Графіки залежності об'єму  $V$  області зварного з'єднання, з густиною струму що перевищує значення в  $10^9$  А/м<sup>2</sup>, в залежності від діаметра  $d_k$  площі контакту електрода з зварним з'єднанням (а) а також графіки миттєвого значення струму в колі розрахунковому (б).

Підсумовуючи, можна сказати, що при діаметрі контакту  $d_k = 2,25$  мм об'єм зварного з'єднання набуває максимального значення за інціалізованих умов і створених умов моторизованої обробки. Якщо діаметр площі контакту більше  $4 \times 4,5$  мм, то об'єм ділянки, де густина струму перевищить значення А/м<sup>2</sup>, близький до нуля [16-19].

### 3.2. Конструкція електротехнічної системи

На основі проведених розрахунків розроблено зразок пристрою для подальшого вивчення та визначення ефективності.

На малюнку 3.7, а. Впроваджено електромагнітну систему зниження залишкових напружень у зварних з'єднаннях за допомогою електродинамічної обробки. Індуктивна котушка має такі параметри: діаметр, внутрішній - 20 мм, зовнішній - 92 мм, намотана з геометрією шини  $1,5 \times 5,6 \text{ мм}^2$ , що складається з 18 витків (рис. 3.7, б). Диск, розміщений під котушкою, має діаметр 100 мм і висоту 3 мм і має два шари міді 4 і сталі 5 для збереження динамічної міцності (рис. 4.7, в). Між диском і котушкою прокладена текстолітова прокладка товщиною 0,6 мм. Крім того, структура системи дозволяє підключити індуктивну котушку та електроди, розміщені на диску, до одного розрядного контуру або підключити 8 з них до різних котушок, реалізуючи можливість комбінованої дії обох і струму. Або відокремлюється вплив електродинамічної сили.

До диска прикріплена скоба 6 для утримання електрода 7 двома гвинтами, електрод має наконечник радіусом 2,6 мм. Для необхідного центрування дисків і котушок індуктора вони поміщені в гвинтові корпуси 2, 3. Клема 8 використовується для підключення систем і живлення, для розміщення на поверхнях і транспортуванні, вся конструкція кріпиться на ніжки, додатково на верхню кришку кладеться навантаження, що забезпечує надійний контакт і запобігає розриву схеми в процесі обробки. .

на рис. 3.8. Ознайомлено з генератором імпульсів струму, призначеним для якого є подана імпульсів та живлення електромеханічних перетворювачів. Крім того, реалізація цього джерела дозволяє змінити параметри імпульсу за рахунок індуктивності та змінити напругу на конденсаторі відповідно до необхідної ефективності обробки.



Рис. 3.7. Електромеханічний перетворювач: а) вигляд; б) котушка; в) диск;  
 1 – котушка, 2 – корпус, 3 – кришка, 4 – мідне покриття диску, 5 – диск, 6 –  
 обойма, 7 – електрод, 8 – виводи провідників.

Досліди виявили такі характеристики ефективності та відтворюваності електромеханічної обробки, по-перше, електрод повинен бути приведений в контакт зі зварним з'єднанням, електрод, який контактує зі зварним з'єднанням, повинен бути відполірований, крім того, радіус галочки 2,5 мм [16-19], крім

того, необов'язково обробляти безпосередньо вздовж зварювального шва, а також можна обробляти на певній відстані, але в той же час зварне з'єднання має бути в межах реалізації електрозварного шва - пластичний ефект



Рис. 3.8. Джерело імпульсів струму: 1 – корпус; 2 – виводи; 3 – «скидання» напруги; 4 – напруга на конденсаторі; 5 – «розряд»; 6 – регулятор для точного регулювання; 7 – «мережа»; 8 – кнопка для грубого регулювання.

### 3.3. Експериментальні дослідження

Експериментальне дослідження базується на розрахунках, при вивченні впливу електрокінетичної обробки на конденсатор  $V$  при напрузі ця величина відповідає електродинамічній силі  $F_{\max} = 22 \text{ кН}$ , тому для зменшення напруги розтягу в зразку алюмінієвого сплаву  $\sigma_t = 140 \text{ МПа}$ , для сплаву Аmg-6.

Для дослідження були відібрані зразки пластин із алюмінієвого сплаву Аmg-6 розміром  $410 \times 166 \times 2 \text{ мм}$  зі зварним швом по центру. Зварні з'єднання виконано за системою зварювання TIG з наступними параметрами  $I_{zв} = 175 \text{ А}$  і  $z_v = 5,6 \text{ мм/с}$ ,

для електродинамічної обробки використовувалася система вищевказаних технічних параметрів (рис. 2.1).

Для визначення поздовжньої еквівалентної розподілу залишкових напружень у зварному з'єднанні в центральній частині використовували спекл-інтерферометрію [166], у цьому випадку розподіл до та після електрокінетичної обробки наведено на рис. 3.9. Початкова межа міцності на розрив становить 165 МПа (крива 1 на рисунку), що абсолютно близько до межі текучості досліджуваного матеріалу. Отже, після обробки зварного з'єднання під динамічним впливом рівень падає (крива 2), варто відзначити, що в зоні контакту електрода зі зварним з'єднанням напруження розтягу переходить у напруження стиску, тобто 30 МПа.

При механічній обробці збільшується струм через зварний шов, рівень залишкових напружень стиску становить 80 МПа (крива 3), а площа їх розміщення становить 20 мм, займаючи при цьому площу, яка може спричинити небажане пошкодження зварного шва.

Тому можна сказати, що процес деформації, який досягається електрокінетичним тиском електрода, не тільки посилює ефект в електропластичній області, але й виходить за деякі її межі.

Як показано на малюнку. 3.9. Експериментальне дослідження безсумнівно підтверджує вплив електрокінетичної обробки на зниження залишкової напруженості в зварних розтягуючих з'єднаннях, яка в подальшому перетворюється на напруження стиску. Згідно з [19], поле напружень стиснення в зоні можливого руйнування зварного шва може підвищити його опір втомі при циклічному навантаженні. Тому для підтвердження цих ідей щодо підвищення втомної міцності зварних з'єднань, оброблених згідно з протоколом (рис. 2.1), було досліджено зразок зварних з'єднань, геометричні характеристики якого наведені на рис. 2. 3.10 Позначте напрямки корозії шва та оброблену ділянку. Аналізуючи результати, можна побачити, що розподіл напружень необробленого зразка близький до кривої 1 (рис. 3.9) та кривої 3 після електрокінетичної обробки.

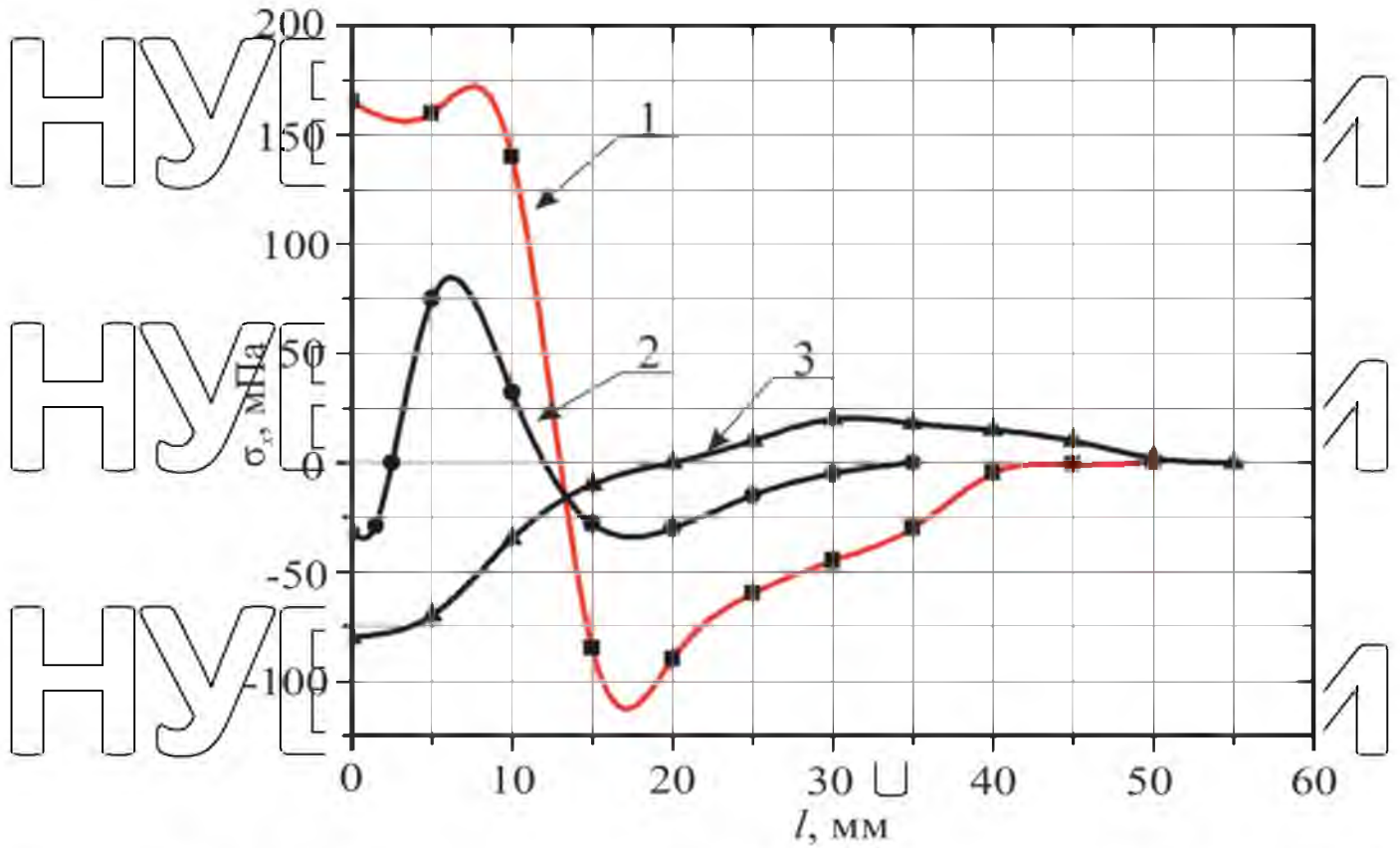


Рис. 3.9. Розподіл залишкових зварювальних напружень  $\sigma_r$  мПа криві: 1 – вихідний рівень залишкових напружень; 2 – рівень напружень після реалізації динамічної обробки зварних з'єднань; 3 – рівень залишкових напружень після реалізації електродинамічної обробки.

Ці дослідження проводили протягом певного часу до появи втомних тріщин, при цьому реєстрували кількість циклів  $N$ , що відповідають початку руйнування зварного шва.

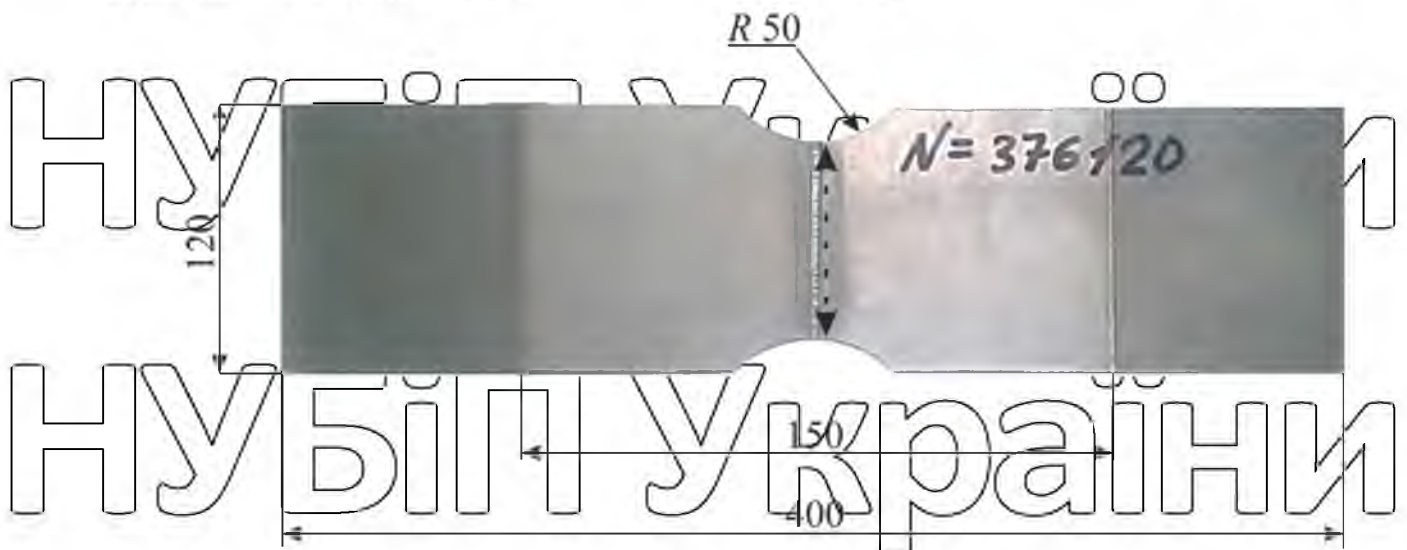
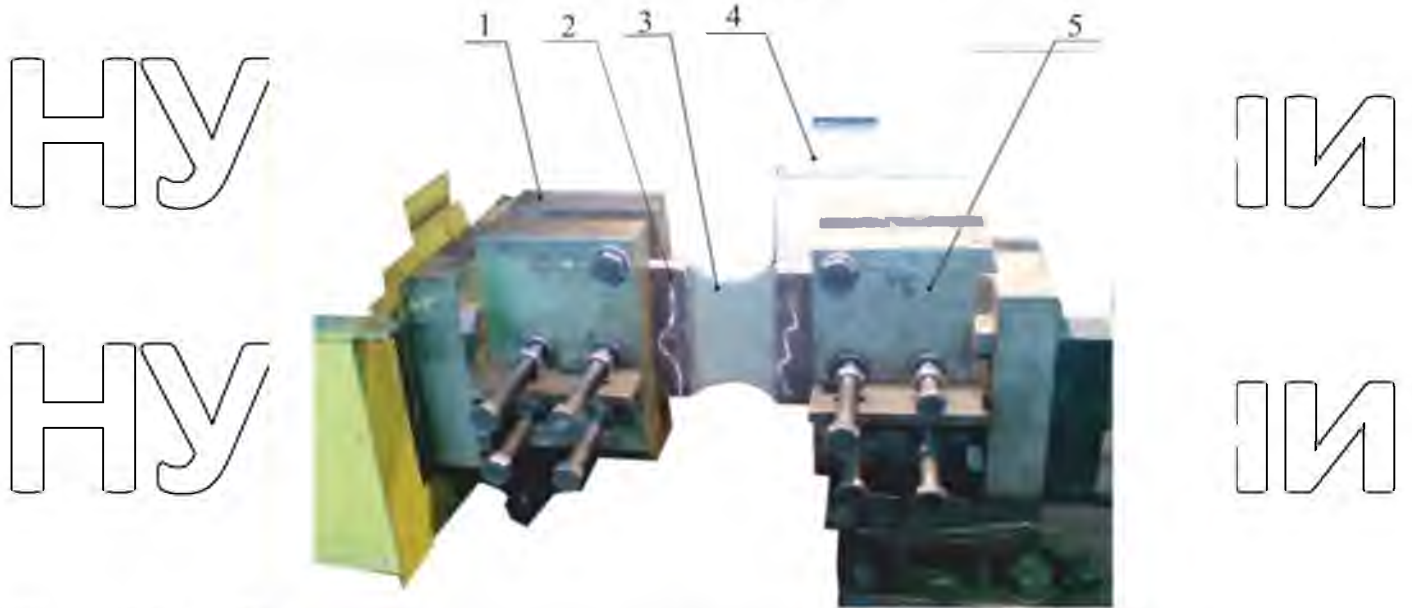


Рис. 3.10. Геометричні розміри зварних зразків

# НУБІП УКРАЇНИ

Для дослідження використовували спеціальну машину УІМ-02 (рис. 3.11), яка дозволяє вимірювати випробування на втому на згин при симетричних навантаженнях (рис. 3.12).



# НУБІП УКРАЇНИ

Рис. 3.11. Виготовальна машина УІМ-02: 1 – рухома пластина, 2 – фіксуєча пластина, 3 – дослідний зразок зварного зедання, 4 – лічильник, 5 – нерухома пластина.

# НУБІП УКРАЇНИ

В діапазоні 80–150 МПа встановлювалася амплітуда циклу, що відповідає зміні робочого навантаження зварного з'єднання досліджуваного сплаву АМг-

6. На рисунку 3.12 показані криві втоми, які чітко характеризують циклічну

міцність, розглянуту при дослідженнях на вигин необробленого зварного з'єднання (крива 1), а також обробленого зразка (крива 2).

# НУБІП УКРАЇНИ

# НУБІП УКРАЇНИ



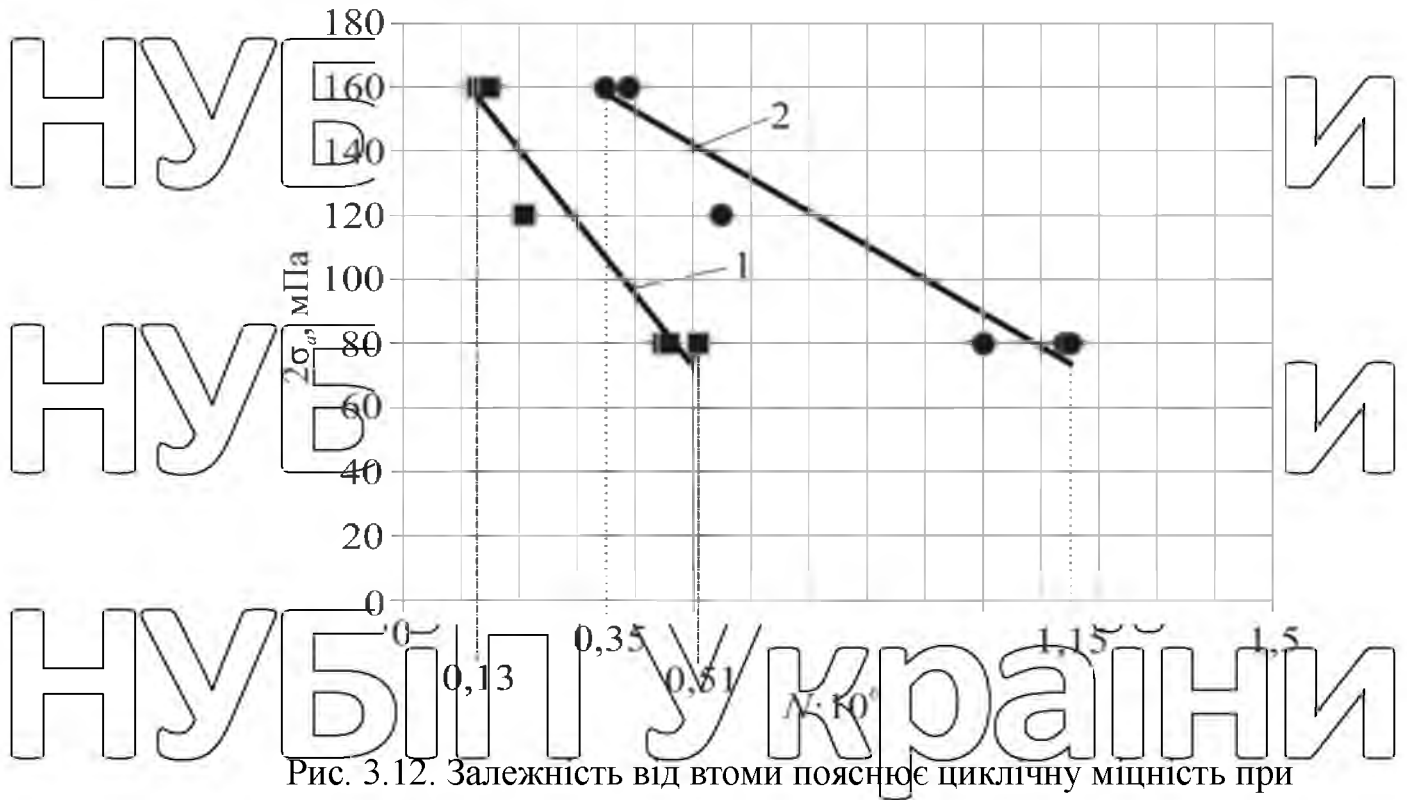


Рис. 3.12. Залежність від втоми пояснює циклічну міцність при дослідженнях зварних з'єднань (1) та оброблених зразків (2).

Аналіз результатів досліджень показує, що при максимальній амплітуді циклу  $2\sigma_a = 160$  МПа довговічність зварних з'єднань N-механічної обробки подвоюється. Вплив напруги на міцність найпростіше спостерігати при  $2\sigma_a = 80$  МПа (що відповідає мінімальному значенню), де значення N збільшується в три рази. Таким чином, виникнення напружень стиску в зварних з'єднаннях сприяє підвищенню втомної міцності зварних з'єднань алюмінієвого сплаву АМг-6 при електрообробці за наведеним розрахунком і запропонованою моделлю.

## РОЗДІЛ 4. ПРОЕКТУВАННЯ РЕМОНТНО-ОБСЛУГОВУЮЧОЇ БАЗИ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ПІДПРИЄМСТВА

### 4.1. Обґрунтування проекту ремонтно-обслуговуючої бази зварювального підприємства

В даний час існує кілька варіантів проекту ремонтної бази зварювальних підприємств, які спрямовані на зварювання лицьових матеріалів, корпусних листових деталей, заварювання тріщин, зварювання і наплавлення деталей сільськогосподарських підприємств. Ремонтно-експлуатаційна база зварювального підприємства спрямована на відновлення пошкоджених деталей зварюванням, наплавленням та іншими методами. Установа призначена для усунення дефектів деталей зі сталі, алюмінієвих сплавів і чавуну такими методами, як дугове зварювання і наплавлення, напівавтоматичне зварювання в середовищі вуглекислого газу, газове зварювання і наплавлення, точкове зварювання листів. Також використовується сталевий матеріал.

### 4.2. Розрахунок освітлення

Світильники, оснащені світлодіодними ліхтарями, будемо використовувати для розрахунку виробництва зварювальних підприємств (висота 5,2 м) та освітлення будинків, підсобних приміщень, (висота 2,6 м) ремонтно-експлуатаційних баз [20]. Для розрахунку будемо використовувати метод світлового потоку, розраховуючи загальну освітленість горизонтальної поверхні в закритому приміщенні, використовуючи такий вираз:

(4.1)

де  $\Phi$  – світловий потік світлодіодної лампи, лм;  $E$  – нормована освітленість кімнати, лк;  $S$  – площа кімнати, м<sup>2</sup>;  $z$  – коефіцієнт що враховує нерівномірність освітлення,  $z = 1,15$ ;  $k$  – коефіцієнт запасу ( $k = 1,15$ ),  $N$  – кількість ламп, шт,  $\eta$  – коефіцієнт використання світлового потоку лампи.

Відповідно до необхідного нормованого значення освітленості підприємства виберемо нормовану освітленість у [20].

У сукупності з умовами виробництва будемо використовувати лампу марки НСП11х100, яка рекомендована для промислових підприємств, має підвісну конструкцію, а також пило- та вологозахищена. Технічні характеристики наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1  
Технічні характеристики світильника НСП11х100

Тип ламп	Кількість ламп, шт	Потужність джерела світла, Вт	Коефіцієнт колісної дії, %
Лампа LED, розжарення	1	100	77
Матеріал виконання корпуса	Тип цоколя	Напрямок використання	Максимальна напруга живлення лампи, В
Поліпропілен	E27	Промисловий	220

Ми розрахуємо загальну кількість необхідних прокладок і розглянемо умови їх розміщення, виходячи з необхідної відстані між ними  $L$ , м,  $L = 1$ :

(4.2)

де  $H_p$  – висота кімнати, м;  $H_p = 2,5$  м.

Отже маємо,

$$L = 1 \cdot 2,5 = 2,5 \text{ м,}$$

Ми маємо бажану кількість світильників у розрахованій серії за

допомогою наступного виразу:

(4.3)

де  $a = 5$  м,  $a = 5,5$  м – геометричні розміри розрахованої кімнати.

За результатом розрахунку маємо

$$N_a = 5 / 2,5 = 2 \text{ ряди, } N_b = 5,5 / 2,5 \approx 2 \text{ шт.}$$

Загальна кількість світильників в кімнаті:

Визначити необхідні коефіцієнти відбиття для стелі, стін і підлоги розрахункової кімнати [20]:

$$\rho_1 = 70\% - \text{стелі}, \rho_2 = 50\% - \text{стін}, \rho_3 = 30\% - \text{підлоги};$$

а також визначимо індекс приміщення [13]:

Знайдемо розрахунковий коефіцієнт використання світлового потоку для кімнати [21].  $\eta = 0,37$ .

В результаті отримаємо (4.1):

$$\Phi = \frac{30 \cdot 1,15 \cdot 5 \cdot 5,5 \cdot 1,15}{4 \cdot 0,37} = 732,2 \text{ лм};$$

За розрахунком виберемо світильник Vestum LED A65, технічні характеристики наведені в таблиці 3.2.

Перевірка правильності розрахунку полягає в аналізі різниці між розрахунковим світловим потоком  $\Phi$  вибраної лампи та фактичним потоком вибраної лампи, яка не повинна перевищувати (+20% та -10%) для врахування під час розрахунок. Розрахунки для інших приміщень і підсобних приміщень

будуть виконані аналогічно, результати яких будуть зведені до легкої технічної інформації, представленої в графічній частині дипломного проєкту.

Також розрахуємо освітлення будівельної заготівельної площадки за допомогою промислових світильників.

Таблиця 4.2

Технічні характеристики лампи Vestum LED A65

Тип	Форма лампи	Тип цоколя	Потужність, Вт
Лампа LED	Груша	E27	10,5
Світловий потік, лм	Колір	Температура кольора, К	Напруга, В
790	Матовий	4100	220

Ми будемо використовувати лампи PVLM 2x40 з технічними характеристиками, наведеними в таблиці 4.3, а також ми будемо використовувати лампи Optima T8 G13 з технічними характеристиками, наведеними в таблиці 4.4.

Таблиця 4.3

Технічні характеристики світильника PVLM 2x40

Напруга, В	Тип цоколя	Діаметр, мм	Матеріал
220	G13	38	Метал
Довжина $L$ , мм	Ширина $B$ , мм	Висота $H$ , мм	Маса, кг
1330	150	170	7

Таблиця 4.4

Технічні характеристики лампи Optima T8 G13

Тип цоколя	Форм-фактор	Потужність, Вт	Світловий потік, лм
G13	T8	18	2340
Колір колби	Напруга, В	Температура кольора, К	Колір світіння
Біла	220	6500	Холодний

Розрахуємо світловий потік для приміщення за допомогою наступного

виразу:

$$\Phi_p = E \cdot A \cdot S \cdot z / k, \quad (4.4)$$

де  $k$  – коефіцієнт запасу, ( $k = 1,3$ );  $z$  – коефіцієнт нерівномірності освітлення,

( $z = 1,1$ );  $S$  – площа кімнати, м;  $E$  – нормована освітленість кімнати лк;

$$E = 300 \text{ лк}$$

На підставі проведених розрахунків і обраного обладнання визначимо показник приміщення розрахункового приміщення з урахуванням коефіцієнтів відбиття стелі, стін і підлоги:

$$r_1 = 70\%, \quad r_2 = 50\%, \quad r_3 = 10\%, \quad h = 0,44.$$

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p (A + B)} = \frac{5,5 \cdot 5,5}{3(5,5 + 5,5)} = 0,92.$$

Тому за допомогою (4.1) отримуємо:

$$\Phi_p = \frac{300 \cdot 1,3 \cdot 30,25 \cdot 1,1}{0,44} = 29493,75 \text{ лм};$$

Кількість світильників в кімнаті розраховується за такою формулою:

Тому, згідно з розрахунками та обраним обладнанням, виберемо 6 ламп

ПВЛМ 2x40 та світлодіодні лампи Optima T8 G13 та розмістимо їх по кімнаті

[21].

Для розрахунку потужності всієї системи освітлення використаємо наступний вираз кВт:

$$P = P_d \cdot N \cdot n \quad (4.5)$$

де  $P_d$  – потужність вибраних світлодіодних ламп, кВт;  $N$  – загальна кількість світильників, шт,  $n$  – кількість ламп в одному світильнику, шт;

$$P = 0,04 \cdot 6 \cdot 2 = 0,48 \text{ кВт};$$

Щоб адекватно визначити потужність системи освітлення, розглянемо втрати потужності в запуску системи керування:

$$P_{\text{розг}} = P + 0,2 \cdot P = 0,48 + 0,2 \cdot 0,48 = 0,576 \text{ кВт}. \quad (4.6)$$

Розраховуючи наступні кімнати на підприємстві, ми зробимо обчислення подібним чином, використовуючи певний метод потужності та зводючи результати в технічний звіт освітлення.

#### 4.2. Вибір апаратів керування і захисту

Необхідно враховувати, що прилади, які використовуються для керування та захисту електрообладнання, повинні неодмінно відповідати вимогам ПУЕ та ПТЕ [1, 2]. Проведемо підбір моделі та контрольну перевірку ПУЗП приводу вентилятора, встановленого на дільниці обладнання.

Технічні характеристики двигуна АИР71А2У3 наведені в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5

#### Технічні характеристики електродвигуна АИР71А2У3

Потужність, кВт	Частота обертання, об/хв	Висота осі обертання, мм	Напруга живлення, В
0,75	3000	71	220/380
Номінальний струм, А	Коефіцієнт корисної дії, %	Коефіцієнт потужності	Маса, кг
1,75	79	0,80	8,7

Залежно від умов, які визначають автоматичне перемикання на живлення

двигуна вентилятора:

- 1)  $U_{авт.вим} \geq U_{мережі}$ ;
- 2)  $I_{н.авт.вим} \geq I_{н.дв}$ ;
- 3)  $I_{т.р.} \geq I_{н.дв}$ ;
- 4)  $I_{сл.м.розр(відсічки)} \geq I_{неспр}$ .

де:  $U_{авт.вим}$ ,  $U_{мережі}$  – напруга автоматичного вимикача, мережі, В;  $I_{н.авт.вим}$ ,  $I_{н.дв}$  –

Автоматичний вимикач, струм двигуна, А;  $I_{т.р.}$  – струм теплового розчіплювача,

А;  $I_{неспр}$  – струм неспрацювання електромагнітного розчіплювача, А;

$I_{сл.м.розр(відсічки)}$  – струм відсічки, А.

На РП ПР850Г-023У3 встановлено автоматичний вимикач ВА 51-23, технічні характеристики якого наведені в таблиці 4.6.

# НУБІП УКРАЇНИ

Технічні характеристики автоматичного вимикача ВА 51-25

Таблиця 4.6

$U_{\text{авт}} = 660 \text{ В};$
$I_{\text{н.авт.вим}} = 100 \text{ А}, I_{\text{уст.ел.м.розч}} = 3,15 \text{ А}, K_i = 7 \cdot I_{\text{уст.ел.м.розч}};$
$I_{\text{неспр}} = 1,65 \cdot I_{\text{пуск}} = 1,65 \cdot 9,35 = 15,42 \text{ А};$
$I_{\text{відсічки}} = K_i \cdot I_{\text{уст.ел.м.розч}} = 7 \cdot 3,15 = 22,05 \text{ А}.$
Вважаємо, що нам потрібен триполюсний автоматичний вимикач з електромагнітним розщиплювачем, без допоміжних контактів. Ступінь захисту вимикача IP30.

Наступним кроком є вивчення критеріїв вибору автоматичного вимикача

та узагальнення їх у таблиці 4.7.

Таблиця 4.7

Перевірка умов вибору автоматичного вимикача ВА 51-25

$U_{\text{авт}} = 660 \text{ В} > U_{\text{мер}} = 380 \text{ В};$
$I_{\text{н.авт.вим}} = 100 \text{ А} > I_{\text{н.дв}} = 1,75 \text{ А};$
Використано теплове реле;
$I_{\text{відсічки}} = 22,05 > I_{\text{неспр}} = 15,42 \text{ А};$

Для дистанційного пуску двигуна виберемо електромагнітний пускач серії

ПМЛ за критеріями вибору в таблиці 4.8:

Таблиця 4.8

Умови вибору електромагнітного пускача ПМЛ

$U_{\text{пуск}} \geq U_{\text{мережі}};$
$I_{\text{н.пускача}} \geq I_{\text{н.дв}};$
$I_{\text{т.р.}} \geq I_{\text{н.дв}};$
$I_{\text{нагр.сл}} \geq I_{\text{н.дв}}$ та подальшим регулюванням струму неспрацювання на $I_{\text{н.дв}}$ .



де  $U_{\text{пуск}}$  – напруга електромагнітного пускача, В;  $I_{\text{н.пускача}}$  – струм

електромагнітного пускача, А;  $I_{\text{т.р.}}$  – струм теплового реле, А;  $U_{\text{кот}}$ ,  $U_{\text{к.к}}$  – напруга

живлення котушки пускача та кола керування, В.

Розглянемо умови вибору електромагнітного пускача, зведені в таблицю 4.9:

Таблиця 4.9

### Перевірка умов вибору електромагнітного пускача ПМЛ 122002-02

$$U_{\text{пуск}} = 660 \text{ В} > U_{\text{мер}} = 380 \text{ В};$$

$$I_{\text{н.пуск}} = 10 \text{ А} > I_{\text{н.дв}} = 1,75 \text{ А};$$

$$I_{\text{тр.}} = 25 \text{ А} > I_{\text{н.дв}} = 1,75 \text{ А};$$

Комплектується тепловим реле, нереверсивний, ступінь захисту IP54;

$$U_{\text{ком}} = 220 \text{ В} = U_{\text{к.к}} = 220 \text{ В}$$

Електромагнітний пускач будемо оснащувати тепловим реле типу РТЛ-1007-04, діапазон регулювання струму його пошкодження в межах 1000А, а струму реле в межах 25А, відповідно до цих параметрів підбирається термореле.

Ми будемо використовувати шафу низьковольтного блоку 5115-2374UKL2, наступні результати розрахунків та вибір апаратури захисту від пуску та пакету низької напруги представлені в графічній частині дипломного проекту.

Для блоку розподілу електроенергії я буду використовувати розподільний пункт ПР11-3-078, який обладнаний автоматичними вимикачами на вході ВА51-39 і автоматичними вимикачами ВА51-25 на виході кожної фази. Для освітлювальної мережі будемо використовувати шафу ВЩОВ-25-6, обладнану автоматичними вимикачами на вихідній фазі ВА47-29, а на вхідній стороні автоматичними вимикачами ВА 47-29, які описані в графічному розділі

дипломний проект.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ЗВАРЮВАЛЬНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

1. Інструкції з охорони праці на електрозварювальних і газозварювальних роботах встановлюють правила охорони праці на електрозварювальних і газозварювальних роботах. Ці правила є обов'язковими для виконання роботодавцями — юридичними та фізичними особами незалежно від організаційно-правової форми та форми власності, а також працівниками, з якими вони перебувають у трудових відносинах, при виконанні електрогазозварювальних робіт.

2. Це правило поширюється на працівників, зайнятих електрогазозварювальними роботами з використанням закритих або відкритих стаціонарних, переносних і пересувних електрогазозварювальних установок, призначених для виконання процесів зварювання, наплавлення, різання оплавлення і зварювання тиском [22].

3. Відповідальність за виконання цього правила покладається на роботодавця. Роботодавці розробляють інструкції з охорони праці для професій та/або видів робіт на основі правил виробника та вимог до технічної документації окремих видів електрогазозварювального обладнання та інструменту та отримують погодження з локальним нормативним актом роботодавця з урахуванням відповідної профспілки органів або представників Висновки інших уповноважених співробітниками агентства органів, якщо такі є.

4. У разі використання методів роботи, матеріалів, технологічного обладнання, обладнання та інструментів вимоги щодо безпечного використання не пред'являються.

5. Роботодавець забезпечує:

1) чи відповідає склад і робота електрозварювального і газозварювального обладнання та інструментів вимогам ТУ і технічної документації виробника;

2) проводить навчання працівників з питань охорони праці та перевірку знань з питань охорони праці;

3) Контроль за виконанням працівниками інструкцій з охорони праці.

6. При виконанні електрогазозварювальних робіт працівники можуть зазнавати впливу шкідливих та (або) небезпечних виробничих факторів, у тому числі:

1) Замкнуті коло через тіло людини;

2) Забруднення повітря в робочій зоні збільшується, і в повітрі робочої зони є шкідливі аерозолі;

3) Температура повітря в робочій зоні підвищується або знижується;

4) Підвищується температура оброблюваних матеріалів, виробів, зовнішньої поверхні обладнання, внутрішньої поверхні замкнутого простору, розплавленого металу;

5) Ультрафіолетове та інфрачервоне випромінювання;

6) Збільшення яскравості в процесі зварювання;

7) Підвищений рівень шуму та вібрації на робочому місці;

8) Розташування робочого місця досить високо відносно поверхні землі (підлоги);

9) Фізичні та нервово-психічні перевантаження;

10) Робота у важкодоступних і замкнутих місцях;

11) Падаючі предмети (компоненти обладнання) та інструменти;

12) Транспортування транспортних засобів, навантажувачів, транспортування матеріалів та інструментів.

7. Роботодавці вправі встановлювати вимоги безпеки при виконанні електрогазозварювальних і газозварювальних робіт, що поліпшують умови праці працівників [23].

### 5.1. Вимоги охорони праці при організації проведення робіт

8. До електрогазозварювальних робіт допускаються працівники віком до 18 років з обов'язковим попереднім медичним оглядом, інструктажем з питань охорони праці, безпечних методів праці та технічного навчання, інструктажу на робочому місці та перевірки знань, проводиться принаймні кожні 12 місяців. При експлуатації електроустановок працівники повинні бути екіпіровані групою з електробезпеки за правилами охорони праці.

9. Зварювальники та помічники зварників можуть використовувати для роботи електрошлакове зварювання після додержового навчання технології електрошлакового зварювання.

10. Відповідно до типових норм і міжгалузевих правил забезпечити працівників засобами індивідуального захисту спеціальним одягом і спеціальним взуттям, а також забезпечити працівників засобами індивідуального захисту.

Вибір засобів колективного захисту працівників здійснюється з урахуванням вимог безпеки конкретного виду робіт [24].

11. Система праці та відпочинку працівників регулюється правилами внутрішнього трудового розпорядку роботодавця та іншими локальними нормативними актами відповідно до законодавства про працю.

12. Працівник зобов'язаний негайно повідомляти свого безпосереднього керівника або вищестоящего керівника про кожний нещасний випадок на виробництві та про всі помічені ним порушення. Забороняється використання несправного обладнання, інструментів і пристроїв, а також засобів індивідуального та колективного захисту.

## **5.2. Вимоги охорони праці, що пред'являються до виробничих приміщень (виробничих площадок) і організації робочих місць**

13. Заборонено захарашувати виходи всередині приміщень, для того щоб забезпечити безпечне пересування працівників і проїзд транспортного засобу [25].

14. У справному стані повинні бути проходи, сходи, майданчики, поручні тощо. Те, що знаходяться на відкритому повітрі, очищаються від льоду та снігу, а взимку посипаються піском.

15. Усі робочі місця повинні відповідати санітарно-гігієнічним нормам.

16. Зварювальні цехи та майданчики повинні бути обладнані вентиляційним обладнанням, а на стаціонарних робочих місцях – локалізованою вентиляцією,

що забезпечує зниження вмісту шкідливих речовин у повітрі робочої зони до рівня, що не перевищує ГДК.

17. Ділянка газополум'яної обробки металу зі значним перегрівом і утворенням зварювального аерозолу, розташована в одноповерховій будівлі.

18. У складально-зварювальних майстернях для опалення в холодний і перехідний періоди року слід використовувати регульоване припливне повітря.

Влітку в складальних і зварювальних цехах повинна бути встановлена природна вентиляція.

19. Майданчик, на якому встановлений контейнер із зрідженим газом, має мати металеве огорожу. Між контейнером і огорожею повинен бути прохід шириною не менше 1 м. Біля контейнера не має бути джерел нагріву.

20. На робочому місці зварника при роботі в сидячому положенні встановлюють поворотне крісло, що регулюється по висоті, і підставку для ніг з похилою опорною поверхнею.

При роботі стоячи для зменшення статичного навантаження на руки електрогазозварників встановлюється спеціальна підвіска.

21. На стаціонарних робочих місцях газозварників під час перерв у роботі встановлюйте стелажі з гаками або вилами для підвішування згаслих пальників або різаків.

22. Стаціонарні робочі місця, призначені для автоматичного та механізованого електрозварювання в захисному газі та суміші з:

1) зварювальне обладнання та обладнання робочих місць, що відповідають вимогам технологічного процесу;

2) Пристрій, вбудований в технологічне обладнання або зварювальну головку для видалення шкідливих газів і пилу.

23. При організації робочого місця на місці механізованої потокової лінії електрозварювального струму необхідно дотримуватись таких умов:

1) для автоматизованих електрозварювальних процесів, що супроводжуються шкідливими аерозолями та газоутворенням понад гранично допустимий рівень, необхідно передбачити засоби дистанційного керування та індивідуального захисту;

2) для видалення шкідливих пилових і газоподібних виділень передбачити пиловловлювачі вбудованими або закритими зварювальними автоматами або напівавтоматами, агрегатами, порталами або маніпуляторами;

3) Пульти керування підйомним транспортним засобом суміщений з пультом керування зварювальним обладнанням;

4) обладнання та пульти керування на лінії механізації зварювального струму розташовані в площині, щоб уникнути вертикального переміщення працівників;

5) Робоче місце оператора уніфікованого автоматичного зварювального пульта повинно бути обладнане заднім сидінням з неструмопровідних матеріалів.

6) Між зоною механізованого контуру зварювального струму та прилеглими ділянками, стінами та проходами є проходи. Відстань між місцем зварювання та проходом повинна бути не менше 5 м. Якщо ця вимога не виконується, то у виробничій зоні зварювальника може бути встановлений протипожежний екран (ширма, захисний кожух).

24. При проведенні електрозварювальних і газозварювальних робіт за умови попереднього підігріву виробу двом зварникам дозволяється працювати в одній кабіні тільки при зварюванні одного виробу..

25. Температура поверхонь виробів, що зварюються на робочих місцях не має перевищувати 45 °С.

26. Під час зварювання відкритою дугою на нестационарному робочому місці електрозварників у закритих приміщеннях для відокремлення його від суміжного робочого місця та проходу використовувати негорючий екран (екран, захисний кожух) висотою не менше 1,8 м.

### **5.3. Вимоги охорони праці при здійсненні технологічних процесів, експлуатації обладнання і інструменту**

27. Вживати заходів щодо зниження рівня небезпечних і небезпечних виробничих факторів у разі неможливості застосування безпечних і надійних технологічних процесів.

28. Виконання електрозварювальних і газозварювальних робіт підвищеної небезпеки здійснюється за письмовим нарядом-допуском на виконання робіт підвищеної небезпеки, який оформляється уповноваженим роботодавцем працівником, відповідальним за організацію та безпечне проведення робіт. Робота.

У наказі про погодження вказується, що, де, коли та умови проведення робіт, необхідні заходи безпеки, склад бригад і працівників, відповідальних за організацію та безпечне проведення робіт.

Порядок виконання робіт підвищеної небезпеки, видання нарядів-допусків, обов'язки посадових осіб, відповідальних за організацію безпеки робіт, визначаються локальними нормативними актами роботодавця.

29. Для виконання електрозварювальних і газозварювальних робіт в охоронних зонах споруд чи комунікацій наряд-допуск видається при наявності письмового погодження з організаціями, які експлуатують ці споруди і комунікації.

30. Наряд-допуск видається на термін, необхідний для виконання заданого обсягу робіт. У разі виникнення в процесі виконання робіт небезпечних або шкідливих виробничих факторів, які не передбачені нарядом-допуском, роботи припиняються, наряд-допуск анулюється.

31. Сформований та виданий лист-допуск реєструється в журналі, рекомендовано відображати в журналі такі відомості:

- 1) назва філії;
- 2) номер вхідного квитка;
- 3) дата видачі;
- 4) короткий опис проекту відповідно до дозвільної послідовності;
- 5) період, на який видано наказ про допуск;
- 6) прізвища та ініціали посадових осіб, які видали та прийняли накази про допуск, засвідчені їх підписами та датами;
- 7) прізвище та ініціали посадової особи, яка отримала наказ, засвідчені її підписом і датою.



32. Проекти високого ризику, які мають ліцензію на виробництво, включають:

1) електрозварювальні та газозварювальні роботи з горючими речовинами всередині та зовні тари, робота в закритих резервуарах, водозбірниках, колодязях, колекторах, тунелях, ходах і котлованах, трубах, топках і димоходах котлів, робочих печах при високих температурах;

2) електрозварювальні та газозварювальні роботи у вибухонебезпечних місцях;

(3) електрозварювання та газозварювання при обслуговуванні нагрівальних приладів, нагрівальних мереж та обладнання;

4) електрозварювання та газозварювання на висоті понад 5м;

5) електрозварювальні та газозварювальні роботи в місцях з ризиком ураження електричним струмом (об'єкти електроенергетики та атомної енергетики) та місцях з обмеженим доступом відвідувачів (місця, де застосовуються та зберігаються сильнодіючі струйні, хімічні та радіоактивні речовини). Роботодавці можуть доповнювати списки вакансій згідно з наказами про ліцензії.

33. Одноименні проекти підвищеної небезпеки, які тривалий час виконуються постійними працівниками в однакових умовах, допускаються до виконання відповідно до затверджених кожною особою інструкцій з охорони праці без оформлення наказу. наказ авторизації. Види робіт підвищеної небезпеки.

34. У холодний період року при виконанні електрозварювальних і газозварювальних робіт у приміщенні (цеху) заготовлю і зварювані деталі завчасно заносять у приміщення (цех), щоб температура була не нижче температури повітря в приміщенні. Приміщення (майстерня) перед початком зварювання.

35. Перед початком електрозварювальних і газозварювальних робіт переконайтеся, що поверхні заготовок, деталей і дроту, що зварюються, сухі, очищені від жиру, окалини, іржі та інших забруднень.

36. Зварювальні та зварювальні поверхні заготовок і деталей покривають антикорозійним ґрунтом, що містить шкідливі речовини, причому від місця зварювання спочатку ґрунт слід видалити на ширину не менше 100 мм.

37. Забороняється проводити електрозварювальні та газозварювальні роботи з приставної драбини, а також одночасне електрозварювання та газозварювання в тарі.

38. Забороняється розміщення легкозаймистих і вибухонебезпечних матеріалів на відстані ближче 5 м від електрозварювальних і газозварювальних виробничих майданчиків.

39. При виконанні електрозварювальних і газозварювальних робіт на високих місцях працівники використовують спеціальний інструмент у мішках і колекторні протравлювачі.

40. При виконанні електрозварювальних і газозварювальних робіт на висоті понад 5 м встановлювати риштування або помости з негорючих матеріалів.

41. Одночасна робота на різних висотах на одній вертикальній лінії із забезпеченням захисту працівників нижніх рівнів від металевих бризок, падаючих огірків, електродів та інших предметів.

42. При виконанні електрогазозварювальних робіт на відкритому повітрі над зварювальними агрегатами та зварювальними постами споруджувати навіси з негорючих матеріалів для запобігання потраплянню прямих сонячних променів та опадів.

43. При проведенні електрозварювальних і газозварювальних робіт в ємностях або конструктивних порожнинах на робочих місцях повинна бути передбачена витяжна вентиляція. Швидкість руху повітря в контейнері (порожнині) повинна бути в межах 0,3-1,5 м/с.

44. Під час виконання електрозварювальних робіт у приміщеннях підвищеної небезпеки, особливо вибухонебезпечних приміщеннях та в особливо важких умовах електрозварювальникам передбачають ізолюючі рукавиці, бахіли та килимки.

45. Під час спуску через люк у закриту тару слідкувати за надійним кріпленням кришки люка у відкритому положенні.

46. Заборона:

1) працювати біля неогорджених і закритих колодязів, отворів і колодязів;

2) Без дозволу виконавця прибирати люки, отвори, огорожі колодязів і кришки, навіть якщо вони заважають виконанню робіт.

47. При виконанні електрогазозварювальних робіт у металевій тарі для освітлення використовувати світильники, встановлені поза приміщенням, або переносні ручні світильники напругою не вище 12 В.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## ВИСНОВКИ

У магістерській роботі «Розробка системи електротехнічної обробки зварних з'єднань» вирішується актуальне завдання підвищення ємності та довговічності зварних з'єднань при низьких енерговитратах, оскільки розроблена електротехнічна система. Ударна дія обробляється електрично, і одночасно може здійснюватися силовий вплив, тому імпульс струму передається на об'єкт обробки через контактний електрод.

За даними аналізу літературних джерел та мережевої інформації встановлено, що методи зниження залишкової напруги в зварних металоконструкціях, які застосовуються на даний момент, мають суттєві недоліки, а саме: потреба у великій кількості енерго- та металомісткого технічного обладнання; великі конструкції та механізми з великим споживанням енергії Існують значні обмеження. Очевидно, що практичним шляхом підвищення ресурсу зварних з'єднань є електромеханічний метод, який базується на ефекті електропластичного деформування, перевагами якого є простота реалізації, скорочення часу обробки, можливість локальної дії, низька енерговитратність.

Розроблена електрична система конструктивно поділяється на джерело імпульсів струму та електромеханічний перетворювач індуктивної імпульсної дії. Принцип роботи джерела імпульсів струму заснований на ємнісній пам'яті, що складається з двох конденсаторів, що заряджаються від джерела постійної напруги, що регулюється в межах 200-950 В. Розряд накопичення ємнісної енергії здійснюється на ланцюзі, що складається з фіксованої індуктивності 11 мкГн, що містить джерело і корпус індуктора, розміщеного як частина електродної системи (індуктивної котушки) на диску діаметром 97 мм. , Складається з мідного шару, закріпленого на сталевому диску товщиною 5 мм. Крім того, слід зазначити, що в розрядний ланцюг також входить опора з'єднувального провідника, а контактний опір між електродом і зварним з'єднанням не менш важливий. У розрахунку прийнято, що діаметр площі контакту між електродом і зварним з'єднанням дорівнює 2

мм, а опір ланцюга, включаючи опір тиристора, становить 20,46 мОм. Процес комутації здійснюється за допомогою тиристорів, які шунтуються зворотними діодами, призначення яких - запобігання перезаряду ємнісної пам'яті напругами протилежних знаків, а також струмів комутації у вигляді розрядів, які характерні для аперіодичних розрядів конденсаторів.

Згідно з розрахунками, сила струму (амплітуда до 7 кА) під час перехідного процесу розряду ємнісного накопичувача енергії, шунтованого зворотним діодом на ланцюзі розряду, електродинамічний тиск (амплітуда більше 22 кН) на зварне з'єднання електродів, а також розподіл щільності в

металевій деталі визначають протікання струму.

Визначено межу металевої області зварного з'єднання, що відповідає умовам реалізації електропластичного ефекту, що створює необхідні умови для визначення геометричних параметрів індукційного електромеханічного перетворювача з ударним ефектом. Зменшити залишкову напругу в зварних з'єднаннях.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. В. Л. Дихачев, И. В. Николаева. Электротехника. – 2021. – 56, №3 – С. 54-88.

2. Голошубов В.І., Бабуцький А. Зварювальні джерела живлення. – 2011. – Т.8. – №1. – С.27-34.

3. В. І. Голошубов, А. Є. Пірумов, М. В. Шевченко. Проектування зварювальних джерел живлення. – 2009. – №4. – С. 43-88.

4. Р. М. Рижов, В. В. Стесін, Є. П. Четвертко, П. Ю. Сидоренко.. Роботи, складально-зварювальні верстати, установки та лінії для зварювання 2009. – 147-159 с

5. Голобородько, Ж. Г. Влияние плазмообразующей среды при резке на образование пор при сварке судокорпусных сталей [Текст] /

Ж. Г. Голобородько, В. В. Квасницкий // Зб. наук. праць УДМУ. – Миколаїв : УДМУ, 2002. – № 3. – С. 25–31.

6. Гибридная лазерно-плазменная сварка алюминиевых сплавов [Текст] / И. В. Кривцун, В. Д. Шелягин, В. Ю. Хаскин [и др.] // Автоматическая сварка. – 2007. – № 5. – С. 49–53.

7. Взаимодействие пунка излучения CO<sub>2</sub>-лазера с плазмой электрической дуги при гибридной (лазер+ТИГ) сварке [Текст] / И. В. Кривцун, И. В. Крикент, В. Ф. Демченко [и др.] // Автоматическая сварка. – 2015. № 3–4. – С. 7–16.

8. Автомат для дуговой подводной сварки мокрым способом в стесненных условиях [Текст] / В. А. Лебедев, С. Ю. Максимов, В. Г. Пичак, Д. И. Зайнулин // Автоматическая сварка. – 2014. – № 9. – С. 41–46..

9. Чернышев Г. Н. / Полезные и опасные остаточные напряжения / Г.Н. Чернышев, А.Л. Попов, В.М. Козинцев // Природа. 2002. № 10.

10. І. В. Кривцун, В. В. Красницький, С. Ю. Максимов, Р. В. Єрмоляєв. Спеціальні способи зварних з'єднань // с-257-293