

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

НОГОДЖЕНО
Директор ННІ енергетики, автоматики і
енергозбереження
професор, д.т.н. _____ КАПЛУН О.В.
(підпис)

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри електротехніки,
електромеханіки та електротехнологій
доцент, к.т.н. _____ ОКУШКО О.В.
(підпис)

„_____” _____ 2023 р.

„_____” _____ 2023 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

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

Спеціальність 141 - «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітня програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

Гарант освітньої програми

к.т.н., доц. _____
(підпис)

Усенко С.М.

Керівник магістерської роботи

к.т.н., доц. _____
(підпис)

Васюк В.В.

Виконав

(підпис)

Сашок Д.О.

КИЇВ – 2023 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

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

ЗАТВЕРЖУЮ

Завідувач кафедри електротехніки,
електромеханіки та електротехнологій
доцент, к.т.н. ОКУШКО О.В.
(підпис)
" " 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи
САЛЮКУ ДМИТРУ ОЛЕКСАНДРОВИЧУ

Спеціальність: 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: **«Розроблення системи
електродинамічної обробки зварних з'єднань»**, затверджена наказом
ректора НУБіП України від 06 березня 2023 р., № 324 „С”.

Термін подання завершеної роботи на кафедру: 15.04.2023.

Вихідні дані кваліфікаційної 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; $1,5 \times 5,5 \text{ мм}^2$ – 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^2 – 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) Притримувати увагу охороні праці при зварювальному виробництві.

Дата видачі завдання 07.03.2023.

Магістерської кваліфікаційної роботи

Васюк В.В.

Завдання прийняв до виконання

Салюк Д.О.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

Пояснювальна записка: 83 сторінки, 29 рисунків, 9 таблиць, 25 використаних джерел.

Практично всі технологічні процеси виготовлення металопродукції методами пластичного деформування пов'язані з формуванням в готових виробках самоуравношешеної системи залишкових напружень. При цьому актуальним завданням є встановлення впливу технології на рівень і характер

розподілу залишкових напружень, які можуть досягати значних величин аж до межі текучості і міцності матеріалу, що часто призводить до руйнування конструкцій ще при зберіганні або в перші години експлуатації при досить низькому рівні експлуатаційних навантажень.

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 вирішено наступні завдання дослідження:

проаналізувати необхідність розробки енергоефективних електротехнічних систем та систем що дають можливість здійснювати локальний вплив для електродинамічної дії на зварні з'єднання; розробити систему електродинамічної дії на зварні з'єднання; обґрунтувати параметри системи електродинамічної дії на зварні з'єднання що будуть забезпечувати локальну релаксацію зварювальних залишкових напружень; розглянути питання

проектування ремонтно-обслуговуючої бази зварювального підприємства розглянути питання охорони праці та техніки безпеки.

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.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СПОСОБІВ ЗНИЖЕННЯ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ ТА КОНТРУКЦІЙ ЛІНІЙНИХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ.....	11
1.1 Методи зменшення зварювальних напружень, деформацій і переміщень в конструкціях.....	12
1.2. Основні типи лінійних електромеханічних перетворювачів	25
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ.....	28
2.1. Будова та принцип дії.....	28
2.2. Процес розрядження ємності на електромагнітну систему	31
РОЗДІЛ 3. ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ.....	45
3.1. Параметри електромеханічного перетворювача.....	45
3.2. Конструкція електротехнічної системи.....	53
3.3. Експериментальні дослідження	55
РОЗДІЛ 4. ПРОЕКТУВАННЯ РЕМОНТНО-ОБСЛУГОВУЮЧОЇ БАЗИ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ПІДПРИЄМСТВА.....	60
4.1. Обґрунтування проекту ремонтно-обслуговуючої бази зварювального підприємства.....	60
4.2. Вибір апаратів керування і захисту	65
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ЗВАРЮВАЛЬНОМУ ВИРОБНИЦТВІ.....	69
5.1. Вимоги охорони праці при організації проведення робіт	70
5.2. Вимоги охорони праці, що пред'являються до виробничих приміщень (виробничих площадок) і організації робочих місць	71
5.3. Вимоги охорони праці при здійсненні технологічних процесів, експлуатації обладнання і інструменту	74
ВИСНОВКИ	78

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ВСТУП

Актуальність. Практично всі технологічні процеси виготовлення металопродукції методами пластичного деформування пов'язані з формуванням

в готових виробах самоуравношешеної системи залишкових напружень. При

цьому актуальним завданням є встановлення впливу технології на рівень і

характер розподілу залишкових напружень, які можуть досягати значних

величин аж до межі текучості і міцності матеріалу, що часто призводить до

руйнування конструкцій ще при зберіганні або в перші години експлуатації при

досить низькому рівні експлуатаційних навантажень. Рівень залишкових

напружень є в багатьох випадках важливим параметром, що визначає якість

виробів, отриманих в результаті пластичного деформування. Причини утворення

залишкових напружень різноманітні (неоднорідність пластичної деформації,

температурного поля, фазові перетворення і т.д.), які за своєю величиною

можуть перевершувати напруги від зовнішніх навантажень [1,3].

В даний час до металопродукції висувають додаткові вимоги з метою

створення машин і конструкцій, що працюють в умовах високих навантажень і

швидкостей, різких коливань параметрів зовнішнього середовища [1]. Досвід

експлуатації конструкцій в різних областях техніки і результати численних

експериментів показують, що залишкові напруги істотно впливають на

надійність і довговічність машин і механізмів. Звідси значні припуски на

напівфабрикатах ливарного, кузнечноштамповочного, пресового та інших

виробництв, що при подальшій обробці, наприклад, різанням призводить до

нераціонального використання металу [2].

Необхідно відзначити, що залишкові напруження можуть грати як

позитивну, так і негативну роль у зміні міцності, жорсткості, стійкості і

зносостійкості виробів, визначаючи тим самим їх працездатність в експлуатації

при різних видах і умовах навантаження.

При сприятливому розподілі залишкових напружень зростають міцність,

працездатність і довговічність металопродукції або виготовлених з нього виробів.

Є ряд прикладів сприятливого впливу залишкових напружень на якість виробів

і їх подальша поведінка під навантаженням. У будівельній техніці це напружений бетон, підвищені експлуатаційні якості якого створюються стискають залишковими напруженнями (зазвичай позитивну роль відіграють стискають напруги на поверхні тіла, а негативну розтягують).

Проблема залишкових напруг включає рішення комплексу наукових і інженерних задач теоретичного і експериментального дослідження процесів формування залишкового напруженого стану та управління ними, створення методів теоретичного визначення та експериментального дослідження, вивчення впливу залишкових напружень на міцність і експлуатаційні характеристики деталей машин і елементів конструкцій.

Для зниження зварювальних залишкових напружень зазвичай використовують наступні підходи: прокачування та кування, термічна обробка, вібраційний вплив, ультразвуковий, ударного навантаження та вибухового та також інші. Однак даним способом властиві суттєві недоліки а саме необхідність залучення високоенергоємного обладнання, значні обмеження які виникають під час реалізації обробки великогабаритних об'єктів та саме головне необхідність великих витрат енергії [4].

Актуальним шляхом вирішення цієї задачі є застосування електродинамічна обробка, якій властиві простота застосування в поєднанні з невеликими витратами енергії. Сутність даного методу представляється в наступному: при густині струму в металі більше, ніж 10^9 А/м² та при впливі стискаючих зусиль на рівні 20 кН, реалізується ефект електропластичності [5], який включає в себе релаксацію напружено стану об'єкта обробки. Застосування даного ефекту знайшло себе в методах обробки металів метою яких є полегшення та інтенсифікації обробки [6].

На даний момент механізми які втілюють це явище та зарахунок чого це реалізується навідомо, однак існує припущення про вплив дислокаційних взаємодій, які обумовленні протіканням електричного струму по об'єкту обробки. Вочевидь даний вплив буде залежати від параметрів струмового імпульсу а саме: форми, амплітуди, тривалості та інших параметрів [7].

Для здійснення подібного впливу можливо проведенням електродинамічної обробки, яка полягає в поєднанні впливу на об'єкт електродинамічної сили та струму. Так в результаті проходження струму через об'єкт що підлягає обробці та сумісної дії імпульсної електромагнітної сили відбуваються деформаційні процеси які взаємодіючи зі напруженнями викликають залишкові пластичні деформації. Результатом подібного ефекту є зниження рівня залишкових напружень розтягу або їх перетворення у напруження стискання зварних з'єднань, що безумовно впливає на подовження ресурсу зварних з'єднань. З огляду на вищеназване можливо сформулювати наступні переваги даної обробки зварних з'єднань в можливості здійснення локальної дії, що дозволить піддавати обробці об'єкти будь-якої форми та розмірів, витрачаючи при цьому невелику кількість енергії.

Отже, розробка електротехнічної системи для реалізації електродинамічної обробки яку можливо конструктивно представити як лінійний електромеханічний перетворювач індукційного типу для здійснення ударної дії, який дає змогу одночасно виконати як силовий вплив, так передати через контактний електрод імпульс струму в об'єкт обробки є актуальним завданням.

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 вирішено наступні завдання

дослідження:

- проаналізувати необхідність розробки енергоефективних електротехнічних систем та систем що дають можливість здійснювати локальний вплив для електродинамічної дії на зварні з'єднання;
- розробити систему електродинамічної дії на зварні з'єднання;
- обґрунтувати параметри системи електродинамічної дії на зварні з'єднання що будуть забезпечувати локальну релаксацію зварювальних залишкових напружень;
- розглянути питання проектування ремонтно-обслуговуючої бази зварювального підприємства

– розглянути питання охорони праці та техніки безпеки.

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 та обгрунтованість результатів досліджень підтверджена вірним використанням досліджень шляхом порівняння з відомими дослідженнями з джерел а також збігом розрахункових і експериментальних результатів.

У магістерській кваліфікаційній роботі на достатньому методичному та інженерному рівні вирішені питання: аналізу необхідності розробки енергоефективних електротехнічних систем та систем що дають можливість здійснювати локальний вплив для електродинамічної дії на зварні з'єднання, розробки систему електродинамічної дії на зварні з'єднання, обгрунтування параметрів системи електродинамічної дії на зварні з'єднання що будуть забезпечувати локальну релаксацію зварювальних залишкових напружень, розгляд питання проектування ремонтно-обслуговуючої бази зварювального підприємства, розгляд питання охорони праці та техніки безпеки.

РОЗДІЛ 1.

АНАЛІЗ СПОСОБІВ ЗНИЖЕННЯ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ ТА КОНТРУКЦІЙ ЛІНІЙНИХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Під дією зовнішнього навантаження будь-який матеріал прагнути зберегти свою форму (розміри). Таку здатність прийнято називати жорсткістю. У той же час, згідно з фундаментальним законам фізики твердого тіла, при наявності зовнішнього навантаження в структурі матеріалу виникають реактивні внутрішні сили, які прагнуть зберегти кристалічну решітку і не допустити деформації або руйнування. Однак жорсткість має свої межі - при надмірній зовнішньої навантаженні матеріали поведуться по-різному. Пластичні (наприклад, стали, кольорові метали) – деформуються. А тендітні (бетон, скло, дерево) – руйнуються. Деформація матеріалу може бути оборотною (при знятті навантаження матеріал відновить первісну форму) або незворотною (під навантаженням матеріал витягнеться, зігнеться і т.д.). Здатність протистояти руйнуванню від внутрішніх напружень, що виникають у відповідь на зовнішнє навантаження, називається міцністю матеріалів. Логічно припустити, що, незалежно від виду деформації, зняття зовнішнього навантаження веде до відповідного зникнення внутрішніх напружень. Це, однак, дотримується не завжди. Після попередньої обробки (лиття, прокату, штампування) в заготовках – навіть без зовнішнього навантаження – можуть зберігатися залишкові напруги, обумовлені внутрішньою структурою матеріалу.

Залишкові напруги діляться на:

- напруження 1-го роду, що зачіпають значний обсяг матеріалу заготовки;
- напруження 2-го роду, присутні в малих обсягах (зернах, кристалах матеріалу);
- напруження 3-го роду, що не виходять за межі кристалічної решітки.

Величина і характер залишкових напружень визначається видом матеріалу, геометричними розмірами заготовки та фізичними процесами при її виготовленні. Так для литих заготовок залишкові напруги утворюються

внаслідок нерівномірного охолодження матеріалу в формі. Для кованих або штампованих — від впливу ударної зовнішнього навантаження. Зварні шви також є концентратором значних напружень.

При механічній обробці різанням, коли інструмент знімає частину поверхні заготовки (припуск на обробку), структура матеріалу зазнає значних змін і відбувається перерозподіл внутрішніх напружень. Сам різець (або фреза) також є джерелом виникнення напружень, деформуючи і нагріваючи матеріал в зоні обробки. При цьому залишкові напруги 1-го роду можуть зробити істотний вплив на якість готової деталі, викликаючи викривлення оброблюваної заготівлі або тріщини на поверхні матеріалу. Ще більш небезпечним є здатність залишкових напружень проявлятися згодом — коли вже після обробки готова деталь механізму раптово і швидко зношуватиметься, внаслідок виходу розмірів за кордону допуску [8].

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

Виділяють кілька причин утворення внутрішніх залишкових напружень в зварних з'єднаннях і конструкціях:

1. Локальний нерівномірний нагрів металу. Як відомо, всі метали при нагріванні розширюються, а при охолодженні стискаються. У процесі зварювання, в результаті місцевого нагріву металу і його подальшого охолодження, в зварному з'єднанні утворюється нерівномірний температурне поле. Таким чином, в зварюваній деталі виникають стискають і (або) розтягують термічні внутрішні напруги. Величина цих напружень залежить головним чином від температури нагріву, коефіцієнта лінійного розширення і теплопровідності, що зварюється. При зварюванні жорстко закріпленої конструкції, величина термічних напружень може зростати внаслідок обмеженості її вільного переміщення в процесі нагрівання і охолодження. При цьому спочатку в нагрівається конструкції з огляду на її розширення будуть виникати стискають внутрішні напруги, а при подальшому охолодженні в процесі її укорочення -

напруження розтягу. Коли величина внутрішніх напружень досягне рівня межі текучості, в металі почнуть відбуватися пластичні деформації, що призводять до зміни форми і розмірів виробу, що зварюється. Після закінчення процесу зварювання, в областях, які зазнали нерівномірного пластичного деформації, виникнуть залишкові напруги.

2. Нерівномірні структурні перетворення в металі. При зварюванні конструкцій з вуглецевих і легованих сталей при нагріванні вище критичних температур можуть виникнути напруги, обумовлені фазовими перетвореннями зі зміною типу кристалічної решітки і освітою фази, що володіє великим питомим об'ємом і іншим коефіцієнтом лінійного розширення. Найбільші напруги можуть виникнути при зварюванні конструкцій з легованих сталей, схильних до загартування. У таких сталях перетворення структур йде з утворенням так званих гартівних структур (мартенситу), що володіють великим питомим об'ємом, більш високу твердість, крихкістю і зниженою пластичністю. Таке перетворення супроводжується збільшенням обсягу, прилеглий до нього метал буде відчувати напруження розтягу, а ділянки зі структурою мартенситу розтягують. У непластичних сплавах це може привести до утворення тріщини.

3. Ливарна усадка наплавленого металу. При охолодженні і затвердінні розплавленого металу шва відбувається його усадка. Це пояснюється тим, що при затвердінні збільшується щільність металу, в результаті чого його обсяг зменшується. Внаслідок нерозривному зв'язку наплавленого металу з основним металом, що залишаються в незмінному обсязі і протидіє усадці, в зварному з'єднанні виникають поздовжні і поперечні внутрішні напруги, що викликають відповідні деформації зварного з'єднання. В результаті поздовжньої усадки в з'єднанні виникає деформація в поздовжньому напрямку щодо осі шва, а поперечна, як правило, викликає кутові деформації [9].

В основі відомих методів зменшення зварювальних напружень і спотворень форм зварних конструкцій лежать три основних способи їх регулювання:
— зменшення обсягу металу, залучаємо в пластичну деформацію на стадії його нагрівання, і зменшення самої пластичної деформації;

– створення в зонах пластичних деформацій, що виникли від нагрівання, додаткових деформацій протилежного знаку. Це може бути виконано як при охолодженні, так і після повного охолодження;

– компенсація виникають деформацій і переміщень шляхом симетричного розташування швів, створення додаткових зон пластичних деформацій, попереднього переміщення, забезпечення вільної усадки і ін.

Розглянемо деякі методи, використовувані у виробництві. Підігрів при зварюванні змінює поля температури і зварювальних деформацій, а також в ряді

випадків і властивості металу, впливаючи на термічний цикл. При цьому змінюються напруження, створювані структурними перетвореннями. Відносно

пластичних деформацій підігрів, з одного боку, зменшує межу пластичності, модуль пружності і перепад температур. Его сприяє зменшенню максимальних

залишкових напружень. З іншого боку, він розширює зону пластичних деформацій, якщо тепло вкладенням при зварюванні залишається колишнім.

При підігріві до дуже високих температур, при яких мало, залишкові напруження також дуже малі.

Проковування застосовується як в процесі зварювання по остигаючого металу, так і після повного охолодження. Проковуванням осаджують метал по

товщині, створюючи пластичні деформації подовження в площині, перпендикулярній напрямку удару. Цим досягають зменшення розтягуючих або навіть появи стискають залишкових напружень. Ефект від проковки залежить

від температури, кількості теплоти, що виділяється при проковці, і значення пластичної деформації. Якщо температура в зоні проковки вище, ніж в іншому

(ні - прокувати) металі, то в процесі подальшого охолодження і температурного скорочення металу стискають напруження будуть зменшуватися і можуть перейти

навіть і розтягуючі) при холодному проковуванні нагрів зазвичай невеликий і можна створити високі стискають напруження. Проковування ведеться

механізованим інструментом з малими (6...7 м/с), середніми (до 100 м/с) и високими (понад 100 м/с) швидкостями руху бойка. Проковування маневрене, в

цьому його перевага перед іншими методами.

При імпульсній обробці вибухом використовують заряди стрічкового типу, які укладають на оброблювані поверхні. Вибух, який проводять в спеціальній камері, створює напруги в поверхневому шарі. Застосовується цей метод як засіб підвищення витривалості зварних з'єднань при змінних навантаженнях. При такій обробці відбувається перерозподіл залишкових напружень.

Прокатка зони зварного з'єднання використовується головним чином для зменшення залишкових переміщень або для загладжування швів. У місцях прокатки розтягують напруги зменшуються і можуть стати стискають.

Метод додаткових навантажень, реалізують під час зварювання навантаження прикладають так, щоб в зоні зварювання створити напруження розтягу. Це зменшує залишкові напруги розтягнення і усадкову силу. Якщо навантаження проводиться після зварювання, необхідно, щоб напруги від навантаження склалися з залишковими розтягують напруженнями і викликали пластичні деформації. Після зняття навантаження напруги знижуються. Для повного зняття власних напружень напруги від навантаження повинні бути близькі до межі текучості металу, що зазвичай важко досяжною.

Застосовують як статичну, так і вібраційне навантаження. В останньому випадку напруги знижуються незначно, але цього буває достатньо, щоб в подальшому сума робочих і залишкових напружень не створює розмірів конструкції при експлуатації [10].

Створення нерівномірного нагріву та охолодження. Якщо створити з двох сторін зварного з'єднання нагріті зони, то метал, розширюючись, обумовить розтягнення вздовж шва і стиснення поперек шва. Така схема напрузі сприятлива для протікання пластичних деформацій в напрямку шва, що якраз необхідно для зняття залишкових напружень, що розтягують. Переміщаючи зони нагріву шва, охолоджуючи метал позаду джерела теплоти, процес можна зробити безперервним.

Якщо створювати концентроване охолодження ділянки з розтягують напруженнями, то він буде скорочуватися і викликати підсумовування залишкових напружень з розтягують напруженнями від охолодження. Це

обумовить пластичну деформацію і подальше зниження залишкових напружень після вирівнювання температур.

Місцевий концентрований нагрів окремих зон застосовують, щоб викликати усадку металу в місці нагріву і створити напруження стиску в сусідніх зонах. Як засіб регулювання напружень він знаходить обмежене застосування, до для редагування конструкцій такий прийом використовують широко.

Відпустка зварних конструкцій застосовують для зміни структури і властивостей металу, а також для зниження залишкових напружень.

Застосування відпустки для зниження залишкових напружень доцільно, якщо пред'являються підвищені вимоги до міцності зварної конструкції і точності її розмірів при подальшій експлуатації. Крім того, іноді доцільно відновити пластичні властивості в зонах, де концентрувалися пластичні деформації при зварюванні, і підвищити опірність крихким руйнуванням. В інших випадках застосування відпустки не рекомендується з-за підвищення вартості виробництва конструкцій.

Розрізняють: загальний відпустку, коли рівномірно нагрівають виріб цілком; місцевий – нагрівають лише частина конструкції в зоні зварного з'єднання; поетапний – джерело нагріву рухається уздовж конструкції, наприклад труби або оболонки, і послідовно нагріває її ділянки. Поелементний – термічній обробці піддають вузли звареної конструкції, а потім зварюють їх між собою. Основна перевага відпустки як методу зниження залишкових напружень в тому, що він не викликає пластичних деформацій, які б зменшували пластичність металу.

Тривала витримка як засіб зниження напружень не рекомендується. Ефективніше трохи підвищити температуру відпустки. Потрібно призначати таку температуру відпустки для зниження напруги, щоб виключити можливість крихкості сталі.

Як зазначалося вище, при зварюванні і термічній обробці масивних деталей в глибині металу виникають об'ємні напруги. Їх зменшення відбувається в значній мірі через пластичних деформацій і релаксації напружень в при поверхневих шарах, а не в глибині металу. Повзучість металу на поверхні

викликає перерозподіл напружень, і відбувається їх зниження у всьому обсязі тіла. Слід, однак, мати на увазі, що максимальні напруження в областях з об'ємним напруженим станом все ж в 2 ... 2,5 рази вище, ніж при одноосній або двохосній схемі напружень. Збільшення тривалості витримки в цих випадках не дає позитивного ефекту, так як уповільнення релаксації напружень на поверхні є причиною такого ж уповільненого зниження напружень в глибині [11].

Заходи щодо зменшення деформацій і переміщень від зварювання передбачаються на всіх етапах проектування і виготовлення більшості зварних конструкцій.

На стадії розробки проекту потрібно приймати такі конструктивні рішення, які б дозволили технологам уникнути значних спотворень звареної конструкції і організувати при необхідності правку:

- призначають мінімальні обсяги наплавленого металу; перетину кутових швів слід приймати за розрахунком на міцність або відповідно до рекомендацій про мінімальні катетах швів. Площа поперечного перерізу і погонна енергія при однопрохідній зварюванні, сила і поперечна усадка обернено пропорційні квадрату катета шва.

- використовують способи зварювання з мінімальним тепло- вкладенням, наприклад контактної замість дугового, багатопрохідної замість однопрохідної. При призначенні виду зварювання слід мати на увазі допустимі швидкості охолодження металу і не перевищувати їх.

- балочні конструкції проектують з таким поперечним перерізом і розташуванням швів, щоб моменти, створювані усадковими силами, були врівноважені, а кути зламу від поперечних швів взаємно компенсували прогини. Це забезпечує мінімальний вигин балок.

- потрібно прагнути до таких послідовностей складально-зварювальних операцій, при яких моменти інерції і площі поперечних перерізів під час виконання тих чи інших швів були по можливості максимальними. Наприклад, послідовне нарощування елементів в складних конструкціях дає великі спотворення розмірів, ніж збірка всієї конструкції на прихватках, а потім зварювання.

- у деяких випадках доцільно забезпечити вільне скорочення елементів від усадки, щоб не викликати спотворень конструкції в цілому. Стикове з'єднання листів виконується до прикріплення їх до інших частин конструкції, забезпечуючи можливість безперешкодної поперечної усадки швів.

- у конструкціях з тонкостінними елементами шви розташовують або на жорстких елементах, або поблизу них.

- у всіх випадках, коли є побоювання, що виникнуть небажані спотворення розмірів і форми конструкції, проектування ведуть так, щоб забезпечити можливість подальшої правки.

При розробці технології та здійсненні зварювання використовують наступні заходи:

- застосовують раціональну послідовність складально-зварювальних операцій, яка або передбачена проектом конструкції, або обрана технологом в межах наявних у нього можливостей. Наприклад, конструкцію розчленовують на окремі вузли, які можуть бути окремо легко виправлені, а потім зварені між собою з мінімальними відхиленнями. Певною послідовністю нарощування елементів Атожної балкової конструкції також можна зменшити викривлення.

Збірку доцільно вести від найбільш жорсткого елемента.

- призначають економічні способи і режими зварювання з мінімальним тепло вкладенням і таким характером спотворень, який нешкідливий для якості конструкції. Регулюванням швидкості охолодження і хімічного складу металу шва змінюють характер структурних перетворень і усадкову силу.

- застосовують відповідну оснастку і пристосування для збірки і закріплення зварювальних елементів. Вони особливо ефективні для ліквідації тимчасових переміщень, які значні за розміром, але не супроводжуються великими усадковими силами, наприклад, притиснення тонких листів при зварюванні стикових з'єднань, закріплення ребер і діафрагм при виконанні кутових швів, утримання листа в площині при контактному точкового зварювання і шовного зварювання, фіксація елементів рами при зварюванні її в кутах і перетинах.

- призначають розміри заготовок з урахуванням наступні усадки, наприклад, виставляння змінного по довжині зазору при електрошлакового зварювання; компенсація кута при зварюванні стикових з'єднань; створення попередньої кривизни балки; шляхом викривлення стінки з кривизною, натяг або термічне подовження стінки двоохтavra щоб вона при подальшій усадки втратила стійкості.

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

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

- створюють в зоні зварювання за допомогою пристосувань або спеціальних установок напруги розтягнення (зазвичай шляхом вигину, рідше розтягуванням), щоб зменшити усадкову силу. Такий прийом використовують при зварюванні балок.

- створюють безпосередньо після зварювання пластичні деформації подовження проковуванням металу спеціальним інструментом або зварювальним електродом при точкового контактному зварювання.

Для редагування конструкції після зварювання використовують різні механічні та термічні способи.

Механічні методи засновані на створенні пластичних деформацій подовження з метою компенсації пластичних деформацій укорочення, викликаних зварюванням, і включають згинання, розтягування, проковку, статичне осаджування металу по товщині під пресом для його подовження в площині, вібрацію, прокатку. При цьому не прагнуть до того, щоб забезпечити рівномірне зменшення пластичних деформацій і залишкових напружень в зоні зварного з'єднання.

Розглянемо докладно, як відбувається усунення деформацій в тонколистових зварних конструкціях прокаткою зони зварного з'єднання циліндричними роликками. Прокатка створює пластичну деформацію металу по

товщині і призводить в основному до подовження металу в подовжньому і частково в поперечному напрямках. Щоб усунути деформації у всьому виробі, досить створити при прокатці пластичні деформації, рівні за значенням, але протилежні за знаком зварювальним тільки в межах зони [9-10].

Плющення проводиться сталевими роликами шириною 5...15 мм. Оскільки подовження металу в поперечному напрямку невелика, усуваються деформації, викликані подовжньою усадкою.

Розтягують напруги можуть знизитися, виявитися близькими до нуля або навіть перейти в стискають. Залишкова напруга про "0і в прокатаній зоні залежить від багатьох факторів.

Експериментально і розрахунковим шляхом показано, що для кожного металу при заданих розмірах роликів і

товщині металу в зоні прокатки існує певне зусилля на ролики P_0 , при якому залишкові напруги, рівні до прокатки приблизно межею текучості, знижуються після прокатки до нуля. Зменшення товщини металу при цьому становить близько 0,5...1%. Прокатка може застосовуватися і для усунення деформацій від точкових зварних з'єднань.

Якщо прокатка не дає достатнього виправлення, то її можна повторити.

Повторна прокатка по одному і тому ж місцю при незмінному зусиллі викликає загасаючу пластичну деформацію, що становить не більше 10...15% від деформації попереднього пропуску. Для отримання більшої пластичної деформації при повторних прокатки слід підвищити зусилля. Механічна правка прокаткою вимагає високої якості збірки перед зварюванням і певної черговості збирання, зварювання і правки. Якщо зварювання одного з швів не погіршує якості збірки другого, то виправлення може виконуватися після зварювання обох швів.

Усунення деформацій прокаткою здійснюється на елементах товщиною до 8...12 мм, але можливо і на більших товщинах.. Прокатка може застосовуватися на виробках із сталей, титанових і алюмінієвих сплавів. Не рекомендується застосовувати прокатку для конетрукцій з малопластичних матеріалів. При

наявності корозійного середовища потрібна перевірка впливу прокатки на корозійну стійкість зварних з'єднань [11].

Термічні способи також засновані на створенні пластичних деформацій необхідного знаку. При місцевих нагрівах (так звана термічна правка) створюють пластичні деформації укорочення. Їго означає, що нагрів, як правило, повинен проводитися поза зонами пластичних деформацій, що виникли під час зварювання. У листах, які втратили стійкість від напружень стиску, створюють нагріви і усадку в зонах стиснення. Скорочення листа в результаті термічної правки і подальшого охолодження забезпечує його випрямлення.

Вуглецеві сталі зазвичай нагрівають газовим полум'ям до 600.. 800 °С. Нагрівання ведуть плямами або смугами. Необхідно прагнути до короткочасного і концентрованого нагрівання, щоб сусідні зони залишалися ненагрітими і чинили опір розширенню нагрітого металу, викликаючи в ньому усадку.

Про результати правки можна судити лише після повного охолодження конструкції. Листові елементи іноді після нагрівання осаджують молотками на площину. Так як нагрітий метал має низький межа пластичності, то він легко осаджується і в ньому при цьому виникають пластичні деформації укорочення.

Завдяки простоті, універсальності і маневреності термічна правка знайшла широке застосування у виробництві.

Термічна правка шляхом загального нагріву деталі при відсутці без використання пристосувань неможлива, так як напрути знижуються як в зонах розтягування, так і в зонах стиснення. Рівновага сил майже не порушується, а отже, переміщення зберігаються. Якщо з допомогою жорсткого пристосування деталі надати потрібну форму, а потім помістити її разом з пристосуванням в піч, то буде відбуватися релаксація напружень до низького рівня. При звільненні деталі з пристосування після відпустки вона не деформується і зберігає ту форму, яку їй надали. До цього, досить дорогого способу правки вдаюся! в тих випадках, коли іншими методами не вдається домогтися необхідного ефекту

Проведені дослідження О. О. Троїцький в Інституті фізичної хімії АН СРСР під керівництвом акад. В. І. Спіцина, та виявив, що електричний струм густиною $10^5 \div 10^6$ А/см² та тривалістю близько 10^{-4} с., який проходить через метал через

метал, викликає, поряд із тепловим, ще й інший вплив на процес пластичної деформації в металі [8-9]. Виконані були дослідження взаємодії потоку електронів сумісно з дислокаціями, які вочевидь впливають на пластичну деформацію металу. Щоб пояснити даний ефект було використано гіпотезу "електронного вітру" та ефект додаткової силової дії імпульсного струму – пінч-ефект [9]. З огляду на вище назване, процес деформації, який реалізується під час протікання через метал електричного струму густиною в сотні-тисячі А/см² та відповідною тривалістю отримав назву ефект електропластичної деформації.

Тому на втілення даного ефекту вочевидь мають вплив густина струму та тривалість імпульсу, якім того виявлено що зі збільшенням амплітудної густини струму в металі ефективність електропластичного ефекту зростає, починаючи з густини струму в $10^5 \div 10^6$ А/см². Щодо тривалості імпульсного струму, електропластичний ефект виникає починаючи зі значень в 10^{-4} с і збільшуючись до значень в 10^{-3} с, де істотний вплив накладють теплові ефекти, однак при менших значеннях тривалості імпульсу ефект не проявляється. У разі зростання частоти проходження імпульсів відбувається зростання ефекту, але величина змін деформації від кожного імпульса зменшується [8].

Таким чином, електропластичний ефект, безсумнівно, відноситься до кооперативних явищ. Він може бути застосований при будь-якому вигляді обробки металів. Для цього повинні виконуватися наступні дві обов'язкові умови:

- заготовки повинні перебувати під механічною напругою вище межі текучості σ_c ;
- зона деформації металу повинна піддаватися дії імпульсів струму зазначених вище режимів.

Менш обов'язковими, але бажаними умовами реалізації електропластичного ефекту є ще три умови, що стосуються параметрів імпульсного струму:

- тривалість імпульсів струму прямокутної та трапецеїдальної форми повинна бути близька до характерних часів стрибків деформації $10^{-4} - 10^{-3}$ з і не перевищувати $(1,5-2,5) \times 10^{-2}$ с, якщо небажані значні теплові процеси;

- амплітудна щільність струму J повинна бути не меншою 10^5 - 10^6 А/см² з тим, щоб електрони провідності передавали на дислокації і інші рухливі дефекти структури імпульси сили і енергії достатньої величини для їх просування і стимулювання пластичної деформації металу;

- частота проходження імпульсів F повинна бути достатньою (як правило, сотні герц) для того, щоб всі ділянки рухались крізь зону деформації заготовки встигали опрацьовуватися струмом. Величина F легко визначається розподілом швидкості руху заготовки v крізь зону деформації на величину зони деформації в поздовжньому напрямку і в напрямку вектора щільності струму;

Дія електропластичного ефекту призводить до наступних основних результатів:

- зниження опору металу деформації на 25-30%;
- збільшення пластичності металу під час обробки;
- збільшення залишкової пластичності до 30%;
- підвищення ступеня досконалості аксимальної текстури дроту при волочінні, що приводить до зниження її електричного опору на 15%;
- поліпшення структури і фазового складу матеріалу дроту;
- при прокатці, волочіння і витяжці нержавіючих сталей практично повністю пригнічується аустенитно-мартенситне фазове преворення, що робить непотрібними операції дорогих і енергоємних отжигів;
- зменшується ймовірність крихкого руйнування матеріалу під час обробки.

В основі електропластичного ефекту лежить силова дія струму на пластичну деформацію металу в основному по двох каналах – через електронну підсистему за допомогою впливу "електронного вітру" на дислокації, а також через граткову підсистему металу за допомогою створення вібрації решітки за рахунок дії імпульсного струму (взаємодії струму з власним магнітним полем струму). В силу дії останнього фізичного фактора виникають коливання вузлів решітки, подібні до тих, що мають місце при дії ультразвуком на пластичну деформацію металу за механізмом своєрідного механотрону дії, не пов'язаного з тепловим дією струму. Крім цього, як показали останні експерименти, в складі електропластичного присуте нове фізичне явище спінової релаксації металу та

вплив на механічні властивості металу, що в принципі можна посилити до технологічно значимого.

На сьогоднішня достатньо широко досліджено та широко використовується [67, 83–85] електропластиний ефект в металобробці саме для виготовлення дроту, порошкових матеріалів, листового прокату, штампуванні, плющенні, куванні, прокатці та інших технологічних операціях.

На даний момент вплив електропластичного ефекту для реалізації електродинамічної обробки вивчено недостатньо. Вивчення електропластиного ефекту перш за все лежало в напрямі виявлення впливу складових електропластичного ефекту на пластичні властивості металу. Однак, дослідження та розробка електротехнічної системи для зниження залишкових зварювальних напружень використовуючи електропластичний ефект поверхнево розглядалось. Враховуючи що вплив на механічні характеристики металу за допомогою впливу електричного струму легко втілити, це пояснює інтерес науковців до застосування імпульсного електромагнітного для зниження зварювальних залишкових напружень в зварювальних конструкціях.

Реалізувати подібний імпульсний електромагнітний вплив заданих параметрів на метал можливо шляхом електродинамічної обробки, що полягає в одночасній дії імпульсної електродинамічної сили та імпульсного струму.

Наслідком у металі зварного з'єднання ініціюються деформаційні процеси, які взаємодіють зі зварювальними напруженнями та викликають залишкові пластичні деформації. Наслідком такого поєднання є зниження рівня залишкових напружень розтягу або їх перетворення у напруження стискання, що й впливає на подовження ресурсу зварних з'єднань шляхом зниження напружень. Систему яка б здійснювала подібний вплив можливо конструктивно виконати як лінійний електромеханічний перетворювач індукційного типу ударної дії системи індукційного типу, який буде забезпечувати електродинамічний вплив на зварне з'єднання за допомогою пропускання імпульсів струму заданих параметрів, які генеруються джерелом імпульсів.

Можливо виділити застосування електродинамічної обробки для зниження зварювальних залишкових напружень а саме [1, 8-10]:

простота, нескладність, універсальність, мобільність та малогабаритність що забезпечить можливість використовувати його для обробки габаритних об'єктів

невелика вартість обслуговування та значне скорочення часу технологічного процесу до 50 разів;

значне зменшення енергозатрат більше ніж у десятки разів;

практична відсутність забруднення навколишнього середовища;

електродинамічна обробка зварних з'єднань призводить до зниження

залишкових напружень в зварних з'єднаннях на 50–65% в порівнянні з іншими

методами (термічний 30–70%, вібраційний 40–55%, ультразвуковий 16–30%,

ударного та вибухового навантаження 40–60%, механічний вплив 10–30%).

Тому при порівнянні методів зниження залишкових напружень електродинамічна обробка володіє значними перевагами та потребує

подальших досліджень у напрямі розробки системи для реалізації такого впливу

та встановлення конструктивних, електричних і режимних характеристик для

забезпечення параметрів струмових імпульсів, достатніх для ефективного

регулювання залишкового напруженого стану металевих конструкцій [10].

і

1.2. Основні типи лінійних електромеханічних перетворювачів

Лінійні електромеханічні перетворювачі ударної дії – це пристрої що

призначені для здійснення безпосереднього перетворення електричної енергії

джерела живлення в механічну енергію лінійного переміщення рухомих його

елементів, в якості джерела енергії виступають імпульсні ємнісні накопичувачі

енергії з електронною системою управління.

З огляду на принцип дії можна виділити наступні типи лінійних

електромеханічних перетворювачів ударної дії а саме: магнітоелектричного,

електромагнітного, електродинамічного, рельсотронного а також індукційного

типів [12-13].

Принцип дії перетворювача магнітоелектричного типу полягає у взаємодії

постійного магніту з магнітним полем що створюється обмоткою індуктора.

л

ь

ч

Використовують постійні магніти які встановлюються як на статорі і на рухомому роторі, при чому є можливість встановлення декілька секцій. Для даних перетворювачів можливо виділити недолік який полягає є використанні постійних магнітів, що не дають можливості імпульсно регулювати струм в обмотці індуктора вище за деякий рівень, що в свою чергу обумовлює обмеження показників даних перетворювачів та їх застосування [14].

Перетворювач електромагнітного типу виконаний на основі взаємодії магнітного поля, імпульсно створюваного обмоткою індуктора від джерела енергії з феромагнітним якорем що переміщується. Обмотка індуктора виготовлена в вигляді декількох послідовних секцій, які послідовно збуджуються і в які рухомий якорь втягується, що і реалізує його рух. Однак, для даних перетворювачів існує необхідність використання електронної системи живлення, що контролює комутацію секцій обмоток індуктора [14].

Перетворювач рельсотронного типу виготовляється в вигляді електропровідний якор, що розміщується поміж двома нерухомими електродами. Джерелом енергії збуджується імпульсний струм, який протікає як по електродах, так і по якорю, в результаті такої взаємодії призводить до його руху.

Однак, при здійсненні даного процесу виникає великий струм, що в свою чергу обумовлює виникнення термічних процесів на ділянках контактів, що значно обмежує його застосування [13].

Перетворювача електродинамічного типу заснований на взаємодії магнітних полів, які створюються рухомою обмоткою якоря та нерухомою обмоткою індуктора які живляться від одного джерела енергії.

Наслідком того що в процесі здійснення руху між обмотками варіюється індуктивність, це впливає на величину електродинамічних зусиль, та обумовлює зміну ефективності лінійного перетворювача в залежності від взаємного розміщення обмоток, хоча при комутації між обмотками великого струму в процесі переміщення обмотки якоря є значним недоліком даної конструкції [12].

Перетворювач індукційного типу заснований на взаємодії магнітного поля, збуджуване змінним струмом обмотки індуктора, з індукованим струмом в якорі.

За конструктивним виконання перетворювачі даного типу можуть бути

коаксіального, бокового, дискового виконання крім того і як кільцевий прискорювач. Традиційно перетворювачі даного типу виконуються без магнітопроводу а також з нерухомою обмоткою індуктора та відповідно рухомий електропровідний якір, представлений в вигляді електропровідного елемента у вигляді диска або іншої форми [14].

При встановленні на одній осі з обмоткою індуктора якір при електродинамічній взаємодії з обмоткою індуктора приводиться в рух. Виконати якір в вигляді диска легше, обумовлюється більшою механічною жорсткістю та максимальним коефіцієнтом заповнення. Однак при деякому нерівномірному розподілі індукovanого струму відбувається нерівномірне використання об'єму диска. Так, при збудженні обмотки індуктора від ємнісного накопичувача енергії в якорі виникає струм, що в свою чергу призводить до виникнення електродинамічних зусиль вздовж осі переміщення всього якоря.

Підсумовуючи можливо виділити переваги лінійного електромеханічного перетворювача індукційного типу а саме: не примхливість до параметрів імпульсного джерела, можливість реалізації струмопроводів обмотки індуктора на відносно невеликі за величиною струми, можливість безконтактного переміщення якоря в відповідності до обмотки індуктора, можливість виконання прискорення якоря будь-яких розмірів при забезпеченні високих стартових прискорень; можливість розподілу електродинамічних зусиль по всій довжині якоря; можливість реалізації кола проходження струму через якір як від стороннього джерела так джерела з обмоткою збудження [15].

Отже проаналізувавши вище переваги лінійних електромеханічних перетворювачів індукційного типу, особливо можливо виділити можливість здійснювати вплив, що поєднує в себе одночасну дію електродинамічної сили та струму, можливо сміливо стверджувати, що використання подібного типу перетворювачів даного типу є найбільш раціональним.

Н
а

д

а

н

и

РОЗДІЛ 2.

РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

2.1. Будова та принцип дії

До складу запропонованої електротехнічної системи що реалізуватиме електродинамічну обробку входять: електромеханічний перетворювач індукційного типу з можливістю ударної дії а також джерело імпульсів струму (рис. 2.1). Основна функція електромеханічного перетворювача полягає в здійсненні електричного контакту між електродами, який дозволяє пропустити імпульс струму що генерується джерелом живлення а інше призначення полягає в силовому впливі.

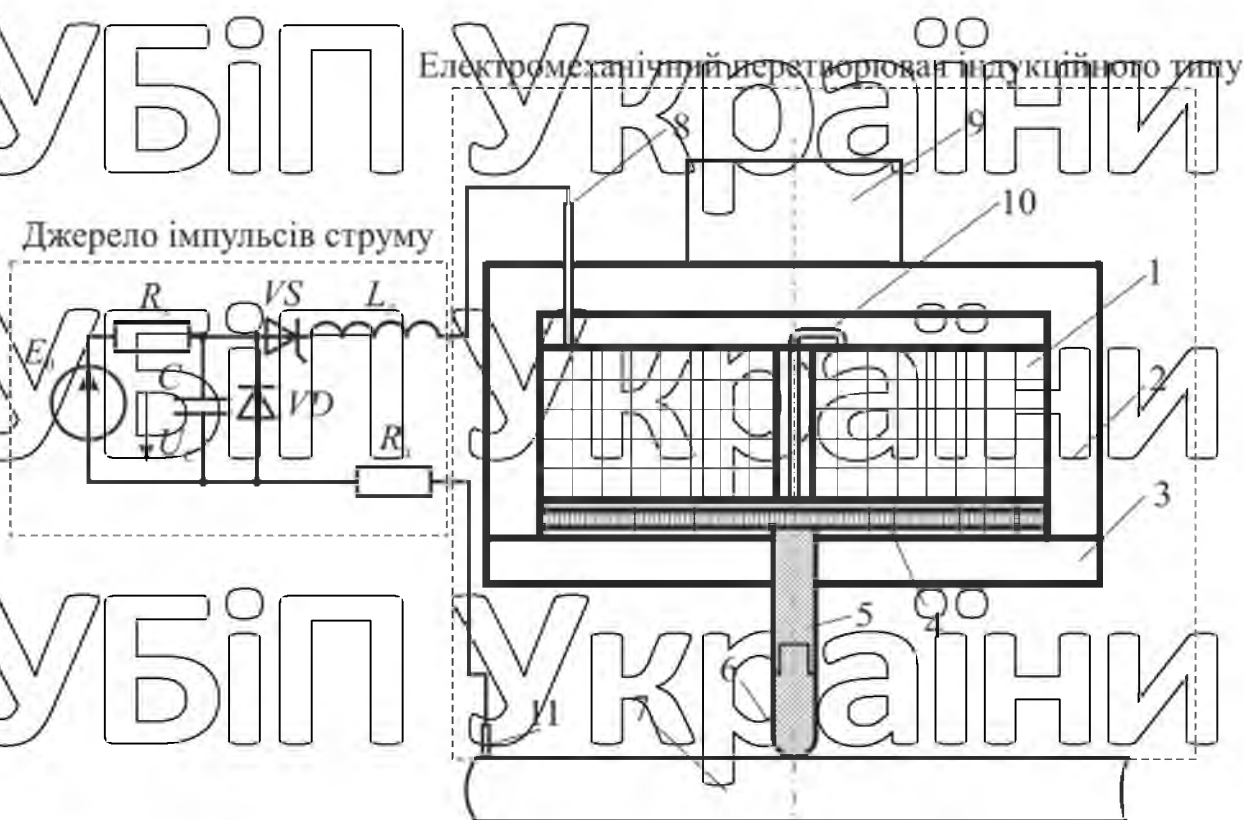


Рис. 2.1. Електротехнічна система для електродинамічної обробки зварних з'єднань

Конструктивно електромеханічний перетворювач складається (рис. 2.1) з котушки індуктивності 1 та масивного диску електропровідного 4, який розміщується на одній осі з котушкою в корпусі. На диску закріплено вольфрамовий електрод з заокругленою поверхнею що 6 вставлений в обойму 5.

Разом з диском котушка розміщені в ізоляційному корпусі 2, 3. Для правильного спрацювання дану систему необхідно розмішувати рівно під прямим кутом до 7 зварного з'єднання [16].

Крім того, для створення деякого контакту між електродом і зварним з'єднанням на корпусі 7 закріплюється вантаж 9, реалізація даного моменту може бути реалізована по іншому. Живлення даної електроної системи відбувається через провідники котушки 8,10 а також контакт з зварним з'єднанням що створюватиме розрядне коло. Параметри імпульсів струму задаються від імпульсного джерела. Підсумовуючи, дана конструкція реалізує зниження залишкових напружень, шляхом проведення електродинамічної обробки що полягає в одночасній дії на зварне з'єднання електродинамічної сили та електричного струму.

Принцип дії джерела живлення і формування імпульсів струму полягає в накопиченні заряду через опір R_3 за допомогою конденсатора C який живиться джерела постійної напруги E_0 та розрядження конденсатора на електромагнітну систему, якій властива індуктивність $L_d + L_k$ в свою чергу та опір $R = R_k + R_d$, де L_k , R_k – індуктивність та активний опір котушки 1 індуктивності; L_d , R_d – додаткова індуктивність та опір, величини яких можна варіювати в залежності від об'єкта обробки, та реалізує можливість зміни параметрів і імпульсів в розрядному колі.

Котушка індуктивності 1 перш за все дозволяє створювати притискаюче зусилля електрода 6 до зварного з'єднання 7, при чому дане зусилля повинно виникати в момент проходження імпульсу струму в розрядному колі в відповідності до взаємного відштовхування струмів у котушці індуктивності 1 а також вихрових струмів, індукуються в диску 4. Для комутації в даній схемі використовується тиристор VS . Для можливості аналізу процесів в розрядному

контурі, та запису осцилограм застосовувався осцилограф, що підключений до шунта $R_{ш}$.

З огляду на те що, що під час здійснення процесу розряду сила електродинамічного притискання переходить у від'ємне значення що викликає притягування диску до котушки, може виникнути загроза розриву електричного контакту електрода з об'єктом що піддається обробці, даний ефект може обумовити виникнення процесів прозрядів із виділенням теплової енергії в зоні контакту електрода з зварним з'єднанням. Тому, саме для вирішення даної проблеми рекомендується зменшеним електродинамічну силу.

Для аналізу причини появи даної сили виявилось що вона має зв'язок з величиною похідної від струму в контурі та подальшою зміною її знаку на протилежний. З огляду на дані роздуми, при зменшенні часу зміни струму у розрядному контурі саме після проходження їм максимального значення, призведе до зменшення від'ємної сили. Даний процес характеризується аперіодичним розрядом конденсатора на розрядне коло що включає $R-L$.

Однак даний спосіб вочевидь пов'язаний з подальшим зростанням активного опору всього розрядного кола та обумовить зменшення величини струму. З огляду на це дане завдання було вирішено за допомогою встановлення зворотного діода V_D паралельно по відношенню до ємності C .

Який забезпечить протягом певного часу, до моменту переходу напруги на конденсаторі в зворотний знак, діод знаходиться у закритому стані, а наступним кроком відкривається та продовження подальшого перехідного процесу відбувається вже в розрядному колі, в якому наявні індуктивність і активний опір.

Крім того одним з можливих способів вирішення даного завдання це реалізувати електродну систему на основі двох контурів (рис. 2.2), при чому один із яких здійснює динамічну дію та буде притискати електрод до поверхні зварного з'єднання, а інший контур буде пропускати імпульс струму крізь зварне з'єднання. Реалізація даної системи вочевидь також представляє не аби який

інтерес. Крім того, електромагнітні процесів в даних запропонованих системах може здійснюватися схожими методами розрахунків.

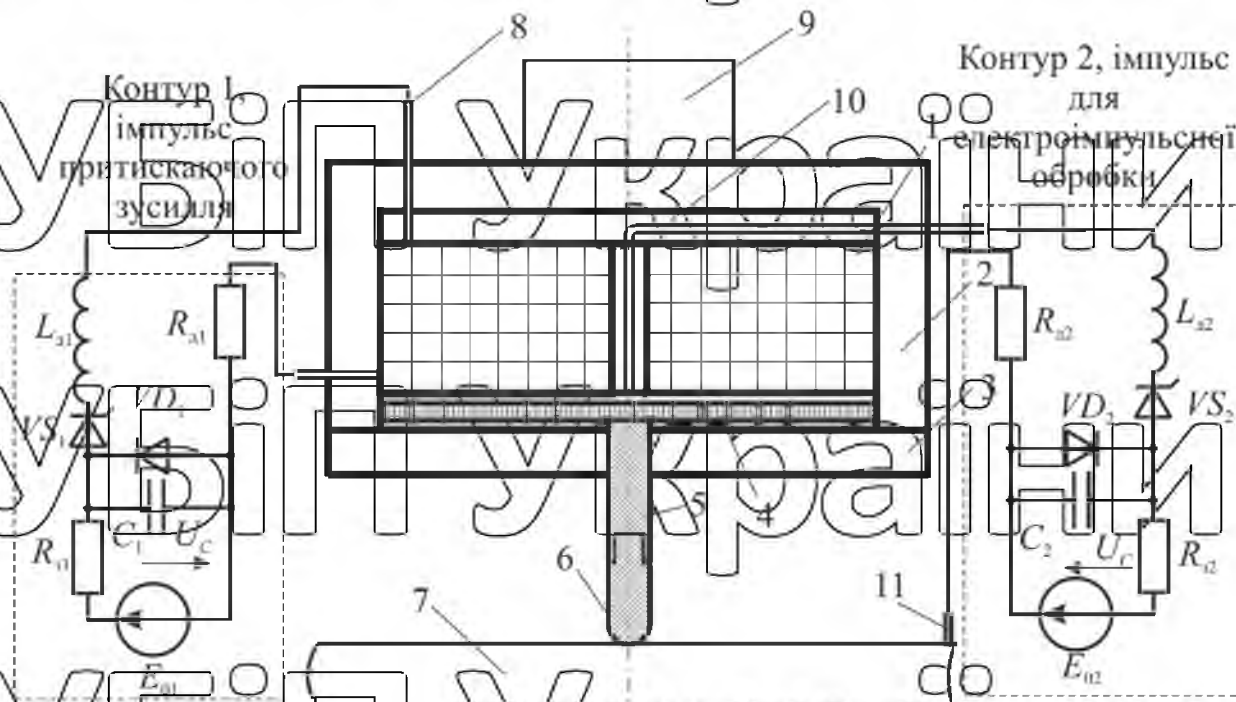


Рис. 2.2. Двоконтурна електротехнічна система для електродинамічної обробки: індуктивний електромеханічний перетворювач: 1 – котушка; 2 – ізоляційний корпус; 3 – кришка; 4 – диск; 5 – обойма; 6 – ворльфрамовий електрод; 7 – зварне з'єднання; 8, 10, 11 – виводи котушки; 9 – навантаження; E_{01} – джерело постійної напруги першого, другого контурів; C_1, C_2 – конденсатори; R_{01}, R_{02} – опори; L_1, L_2 – індуктивності; VS_1, VS_2 – тиристори; $R_{ш1}, R_{ш2}$ – вимірюючі шунти; VD_1, VD_2 – діоди.

2.2. Процес розрядження ємності на електромагнітну систему

Розробка зазначеної системи передбачає розрахунок електрофізичних процесів, результатом яких є виявлення конструктивних, електричних, та режимних параметрів, які будуть забезпечувати ефективність застосування електродинамічної обробки, необхідно визначити параметри електричного кола C, R, L, U_c , що будуть забезпечувати, необхідну силу притискання $F(t)$

електрода до зварного з'єднання а також час впливу, та задавати необхідну густину струму $\delta(Q, t)$ в області зварного з'єднання.

Для розрахунків прийнемо що ємність C , заряджена напругою U_c , розряджається на систему в яку входять додаткова індуктивність L_d , та опору

R_d а також котушка індуктивності L_k активним опором R_k та зєднувальних провідників, що будуть займати об'єм $D = D_1 \cup D_2 \cup D_3$, що обмежується поверхнею $S = S_{10} \cup S_{20} \cup S_{30} \cup S_{13}$ (рис. 2.3).

Для спрощення та однозначного вирішення задачі прийнемо що в розрядному колі протікають струми, при яких струми зсуву в діелектрику, навколо провідників нехуємо.

Вирішення подібної задачі передбачає розв'язання тривимірної крайової задачі для системи рівнянь Максвелла в необмеженій області що представлена в наступному вигляді:

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

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/м²; γ – питома провідність, См/м; μ – магнітна проникність середовища, Гн/м; t – час, с.

Доповнимо нашу систему рівнянь (2.1), як граничними так й початковими умовами, що предоставить початково-крайову задачу, розв'язання якої й буде пояснювати процеси що відбуваються в системі.

Слід врахувати що при здійсненні електродинамічної обробки відбувається механічний вплив на зварне з'єднання, що може обумовлювати зміну провідності металку, але з огляду на недовгий час такого процесу врахуємо провідність матеріалів незмінною.

Для спрощення рівня (2.1) введемо електродинамічні потенціали A та ϕ спростимо вихідну систему рівнянь. В відповідності на те, що $\text{div} \vec{B} = 0$, розрахуємо векторний потенціал:

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

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

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

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

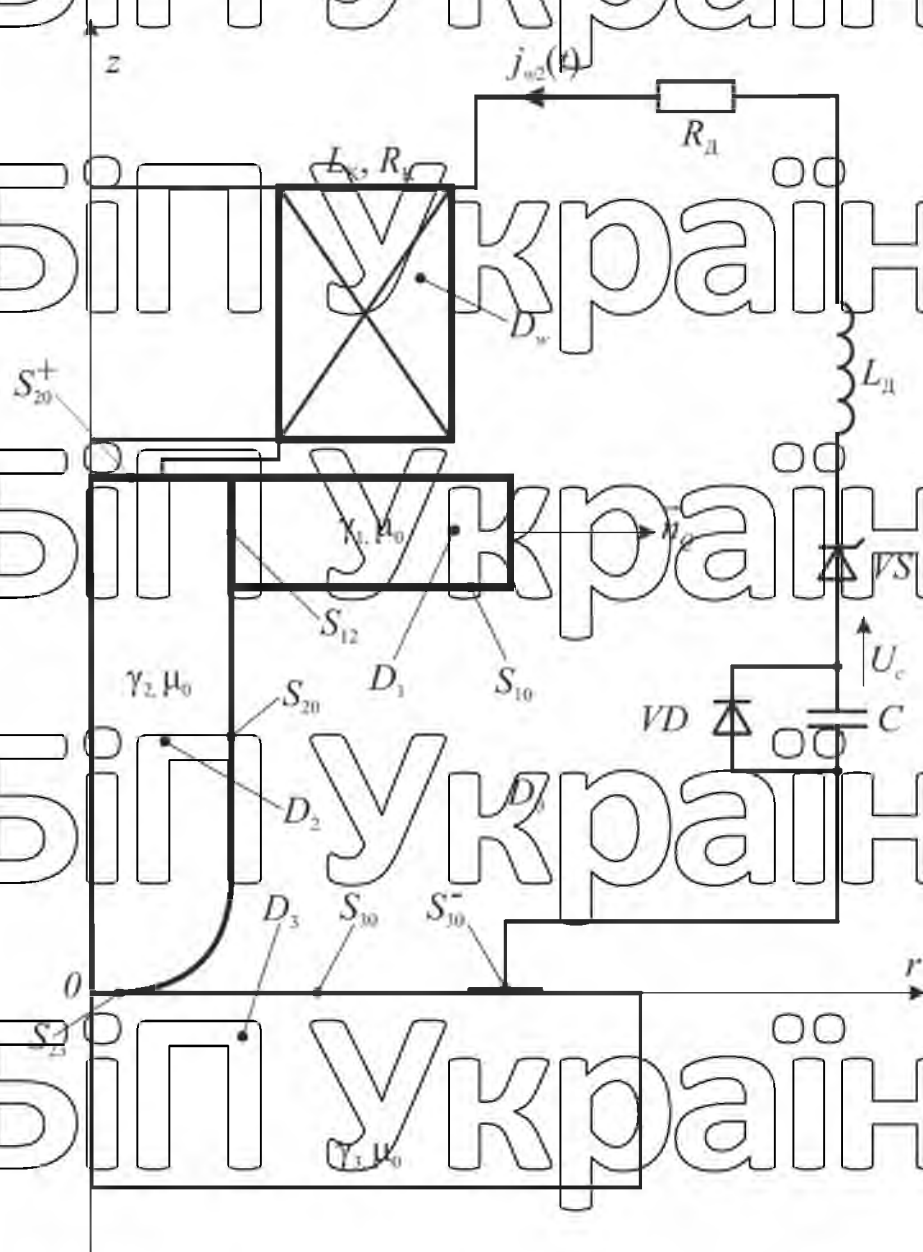


Рис. 2.3. Меридіанний переріз електромагнітної системи

Аналізуючи останнє рівняння бачимо що, що $\vec{E} + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$ – поле потенціалів і для нього наявне скалярне поле ϕ , з

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

З рівня (2.4) визначим наступне рівняння:

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

Далі з рівняння для 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

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

Наступне, враховуючи співвідношення (2.1), визначимо рівняння:

$$\vec{\delta} = -\gamma \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} - \gamma \text{grad}\phi. \quad (2.7)$$

Система рівнянь (2.6), (2.7) буде еквівалентною системі рівнянь Максвелла,

відповідно поля \vec{A} , ϕ , $\vec{\delta}$ задовольняють виразам (2.6), (2.7), то магнітна

індукція \vec{B} , напруженість магнітного поля \vec{H} й напруженість електричного поля \vec{E} можливо розрахувати наступним чином:

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

то в випадку підстановки в систему рівнянь Максвелла вони задовольняють її повністю.

Знайдемо рівняння, яким повинні відповідати потенціали \vec{A} та ϕ , 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):

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

В відповідності зі співвідношенням саме для векторного аналізу маємо

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

отже

$$-\Delta \vec{A} + \text{grad}(\text{div} \vec{A}) = \mu_0 \vec{j}$$

Необхідно врахувати (2.3), при цьому маємо рівняння для визначення

векторного потенціалу наступного вигляду:

$$\Delta \vec{A} = -\mu_0 \vec{j}. \quad (2.10)$$

За для визначення скалярного потенціалу (2.5) врахуємо та отримаємо:

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

З огляду на те, що

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

отже

$$\text{div}(\text{grad} \phi) = 0.$$

Тож, для скалярного електричного потенціалу маємо наступний вираз:

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

Наступним кроком є необхідність в формулювання крайовіи задачі для розрахунку магнітного поля (рис. 2.3):

$$\Delta \vec{A} = -\mu_0 \vec{j}_w, Q \in D_w \quad (2.13)$$

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

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

де \vec{j}_w – густина струму в обмотці котушки індуктивності D_w , А/м²; \vec{j}_q – густина струму в області провідника D_q , А/м²; $q=1,2,3$; D_0 – зовнішній простір.

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

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

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

Крайові умови для скалярного електричного потенціалу представляються в

наступному вигляді:

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

де ϕ^+ , ϕ^- – значення розрахункового скалярного електричного потенціалу в точці

$Q \in S$ в разі наближення масивного провідника D_q , $q=1,2,3$.

Наступним кроком, з огляду на безперервність нормального компонента густини струму $\vec{\delta}$ на границі масивних тіл врахуємо наступний вираз:

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

Де

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

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 , $q=1,2,3$; $\partial \phi^+ / \partial n_Q$ ($\partial \phi^- / \partial n_Q$) – 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 , $q=1,2,3$; γ^+ , γ^- – питома провідність металу стосовно границі

деякої області S .

Отже отримана задача у тривимірній постановці в значення векторного

магнітний потенціалу \vec{A} а тако скалярного електричного потенціалу ϕ

виглядає наступним чином (рис. 2.3):

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

З огляду на відомий струм $j_w(t)$ у розрядному контурі, то модуль густини струму в місцях контакту S_{20}^+, S_{30}^- можливо розрахувати наступним чином:

$$\delta_{n_Q}^+(t) = -\frac{j_w(t)}{S_{10}^+}, \delta_{n_Q}^-(t) = \frac{j_w(t)}{S_{30}^-}, \quad (2.31)$$

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

Виконаємо розв'язок крайової задачі (2.19) — (2.30). При цьому векторний магнітний потенціал представляється в наступному вигляді:

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

він повністю задовольняє вирази (2.19) — (2.21) а також крайові умови (2.22), (2.23). Підставляючи в рівняння (2.7) вираз для векторного магнітного

потенціалу (2.32), одержуємо інтегро-диференціальне рівняння (інтегральне за просторовими змінними, диференціальне за часом) для густини вихрових струмів у масивних провідниках:

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

$$Q \in D, q=1,2,3, \quad (2.33)$$

отже $\lambda = \mu_0 / (4\pi)$.

Вектор магнітної індукції можливо розрахувати наступним виразом:

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

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

Для розрахунку $\text{grad} \varphi(Q,t)$ необхідно вирішувати задачу (2.24) – (2.28).

Виконаємо вирішення рівнянь (2.24) у вигляді потенціалу розрахунковий шар електричних зарядів:

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

де $\varphi(Q,t)$ – 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 врахувати що, наступні крайові умови (2.25) виконуються відповідно. Для вирішення рівняння (2.35) в відповідності до крайової умови (2.28), використаємо теорему про стрибок похідної потенціалу шару [17] при цьому вирази виглядатимуть наступним чином:

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

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

Отже, знайдемо наступну систему інтегральних рівнянь:

$$\sigma(Q,t) + \frac{\gamma^+ - \gamma^-}{\gamma^+ + \gamma^-} \frac{1}{2\pi s} \int \sigma(M,t) \frac{(\vec{r}_{QM}, \vec{n}_Q)}{r_{QM}^3} dS_M = -2\varepsilon_0 \frac{\gamma^+ - \gamma^-}{\gamma^+ + \gamma^-} \frac{\partial A_{n_Q}}{\partial t}, \quad Q \in S. \quad (2.38)$$

Виконавши підстановку в вираз (2.38) рівняння для векторного потенціалу (2.32), маємо:

$$\frac{\chi(Q)\mu_0\varepsilon_0}{2\pi} \frac{\partial}{\partial t} \int \frac{(\vec{\delta}(M,t), \vec{n}_Q)}{r_{QM}} dV_M + \sigma(Q,t) + \frac{\chi(Q)}{2\pi s} \int \sigma(M,t) \frac{(\vec{r}_{QM}, \vec{n}_Q)}{r_{QM}^3} dS_M =$$

$$= -\frac{\chi(Q)\mu_0\varepsilon_0}{2\pi} \frac{\partial}{\partial t} \int \frac{(\vec{\delta}_W(M,t), \vec{n}_Q)}{r_{QM}} dV_M, \quad Q \in S, \quad (2.39)$$

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 рівня (2.35) представленим граничним умовам (2.37),

(2.38), додамо до рівняння (2.39) наступні вирази:

$$\frac{\mu_0\varepsilon_0}{2\pi} \frac{\partial}{\partial t} \int \frac{(\vec{\delta}(M,t), \vec{n}_Q)}{r_{QM}} dV_M + \sigma(Q,t) + \frac{1}{2\pi s} \int \sigma(M,t) \frac{(\vec{r}_{QM}, \vec{n}_Q)}{r_{QM}^3} dS_M =$$

$$= -\frac{\mu_0\varepsilon_0}{2\pi} \frac{\partial}{\partial t} \int \frac{(\vec{\delta}_W(M,t), \vec{n}_Q)}{r_{QM}} dV_M - \frac{2\varepsilon_0}{\gamma_1} \delta_{n_Q}^+(t), \quad Q \in S_{20}^+; \quad (2.40)$$

$$\frac{\mu_0\varepsilon_0}{2\pi} \frac{\partial}{\partial t} \int \frac{(\vec{\delta}(M,t), \vec{n}_Q)}{r_{QM}} dV_M + \sigma(Q,t) + \frac{1}{2\pi s} \int \sigma(M,t) \frac{(\vec{r}_{QM}, \vec{n}_Q)}{r_{QM}^3} dS_M =$$

$$= -\frac{\mu_0\varepsilon_0}{2\pi} \frac{\partial}{\partial t} \int \frac{(\vec{\delta}_W(M,t), \vec{n}_Q)}{r_{QM}} dV_M - \frac{2\varepsilon_0}{\gamma_3} \delta_{n_Q}^+(t), \quad Q \in S_{30}^-. \quad (2.41)$$

З огляду на те, що

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

перезапишемо вираз (2.33) у іншому вигляді:

$$\frac{\vec{\delta}_q(Q,t)}{\gamma_q} + \frac{\partial}{\partial t} \int \frac{(\vec{\delta}(M,t))}{r_{QM}} dV_M - \frac{1}{\mu_0\varepsilon_0 s} \int \sigma(M,t) \frac{\vec{r}_{QM}}{r_{QM}^3} dS_M = \frac{\partial}{\partial t} \int \frac{(\vec{\delta}_W(M,t))}{r_{QM}} dV_M;$$

$$Q \in D_q, q=1,2,3. \quad (2.42)$$

Отже, визначено систему інтегро-диференціальних рівнянь саме для густини вихрових струмів а також густини простого шару електричних зарядів в наступному вигляді:

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

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

$$= \frac{\chi(Q) \mu_0 \epsilon_0}{2\pi} \frac{\partial}{\partial t} \int_{D_w} \frac{(\bar{\delta}_w(M,t), \bar{n}_Q)}{r_{QM}} dV_M - F(Q,t), \quad Q \in S \cup S_{20}^+ \cup S_{30}^-, \quad (2.44)$$

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

при цьому

$$\chi(Q) = \begin{cases} \frac{\gamma^+(Q) - \gamma^-(Q)}{\gamma^+(Q) + \gamma^-(Q)}, & \text{якщо } Q \in S; \\ 1, & \text{якщо } Q \in S_{20}^+ \cup S_{30}^-; \end{cases} \quad (2.46)$$

$$F(Q,t) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } Q \in S; \\ \frac{2\epsilon_0}{\gamma_1} \delta_{n_2}^-(t), & \text{якщо } Q \in S_{20}^+; \\ \frac{2\epsilon_0}{\gamma_3} \delta_{n_2}^-(t), & \text{якщо } Q \in S_{30}^-; \end{cases} \quad (2.47)$$

Система рівнянь що розглядається (2.43) – (2.44) повинна бути доповнена рівняннями електричного розрядного кола в відповідності за другим законом

Кірхгофа для миттєвих значень струму та напруги в розрядному RLC контурі:

система рівнянь до моменту t_1 переходу знаку через діод VD ,

$$j_w(t) R_k + \frac{d\Psi(t)}{dt} + \frac{1}{C_0} \int j_w(t) dt + u_c(t_0) = 0, \quad 0 < t < t_1, \quad (2.48)$$

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

після моменту t_1 перепада знаку через діод VD ,

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

$$j_w(t_{1+}) = j_w(t_{1-}) = 0. \quad (2.51)$$

де $j_w(t) = \delta_w(t) \Delta S_w$ – струм у індуктивності котушки D_w ; $\Delta S_w = a \times b$ – площа витка котушки індуктивності; $\Psi(t)$ – потокозчеплення магнітного поля; $U_c(0_+)$ – початкове значення напруги на конденсаторі C . Виконавши розрахунок системи рівнянь (2.43) – (2.51) скориставшись числовими методами, знайдемо

густину струму в кожному провіднику, в відповідності до чого, електромагнітну силу, що діє на електрод що з'єднаний диском та інші конструктивні параметри електромеханічної системи [17]

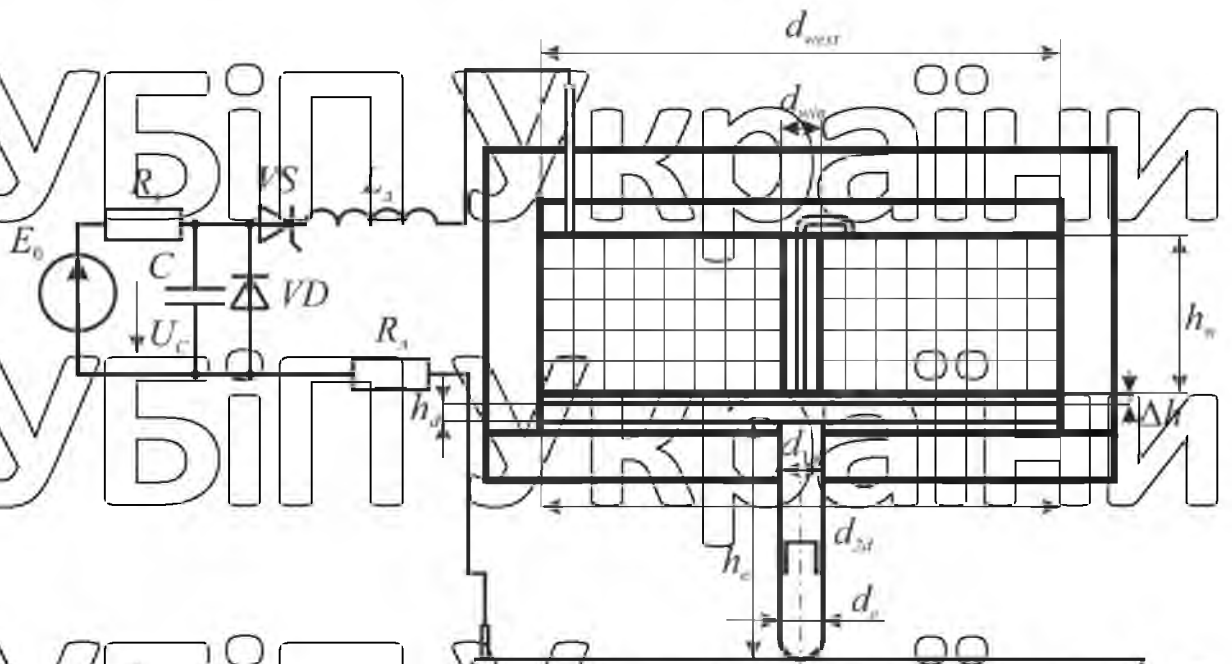


Рис. 2.4. Параметри електротехнічної системи для електродинамічної обробки

Результати розрахунків електромагнітної системи було підтверджено експериментальними дослідженнями, що сумісно проводилися на зразку розробленої системи. За мету дослідження ставилось було дослідження процесу

розряду в розрядному колі та порівняння результатів дослідів із значеннями отриманими при розрахунках. Технічні характеристики та параметри електротехнічної системи для електродинамічної обробки зварних з'єднань (рис. 2.4), представлено в табл. 2.1.

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	$L_{\text{д}}$	9 мкГн
Опір з'єднувальних провідників	$R_{\text{д}}$	15 МОм
Електромеханічний перетворювач		
Внутрішній радіус котушки індуктивності	$d_{\text{win}} = 2R_1$	20 мм
Зовнішній радіус котушки індуктивності	$d_{\text{wext}} = 2R_2$	92 мм
Висота котушки індуктивності	h_w	6 мм
Кількість витків в обмотці котушки індуктивності	w	18
Геометричний розмір проводу, обмотки котушки індуктивності	$S_{\text{пр.}} = a \times b$	1,5x5,5 мм ²
Коефіцієнт заповнення котушки індуктивності	K_3	0,7
Проміжок між котушкою індуктивності та диском	Δh	0,5 мм
Діаметр диска	$d_{2d} = 2R_{2d}$	97 мм
Товщина диска	h_d	8 мм
Діаметр електрода	d_e	8 мм
Висота електрода	h_e	40 мм
Діаметр контактної площадки	$S_{\text{конт}}$	2 мм ²
Активний опір котушки індуктивності	$R_{\text{к}}$	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 з'єднання.		

На рис. 2.5, представлені графіки залежності струму в залежності від часу протікання імпульсу при наступних параметрах: $U = 500$ В, $C = 5140$ мкФ, $L_d = 9$ мкГн. Активний опір розрядного кола R складається з опорів з'єднувальних провідників $R_d = 15$ мОм а також опора котушки індуктивності та складає

$R_k = 5,46$ мОм.

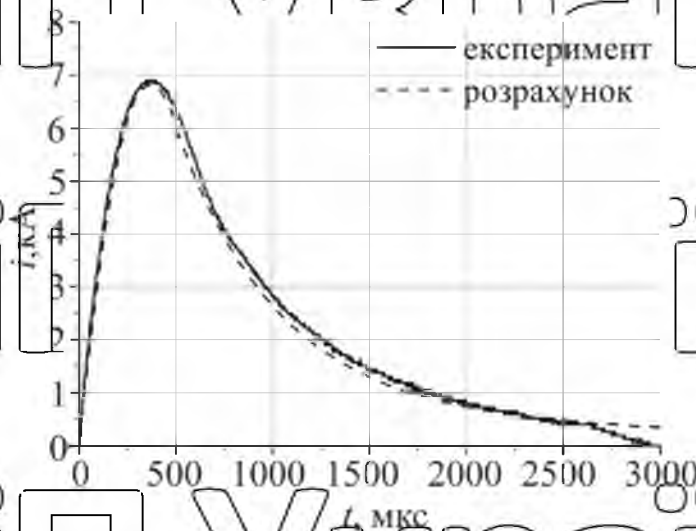


Рис. 2.5. Результати розрахунку та експериментального визначення сили струму в розрядному колі системи для електродинамічної обробки зварних

з'єднань

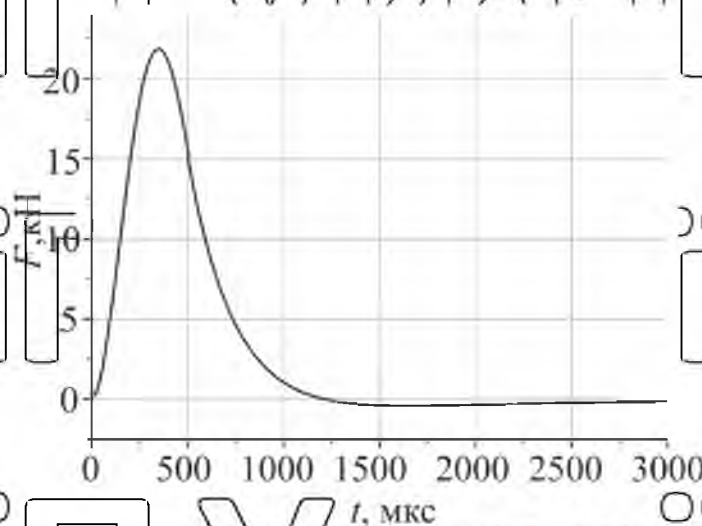


Рис. 2.6. Результати розрахунку електромагнітної сили взаємодії струму в обмотці котушки індуктивності з вихровими струмами у диску

З огляду на дані дослідження процесу стала можливість визначення амплітудного значення струму в розрядному колі а також тривалість імпульсу струму. На рис. 2.6 представлено графік залежності електродинамічної сили, яка реалізується через електрод на зварне зеднання.

Аналізуючи проведені дослідження та отримані графіки і результати з визначення величини струму в при перехідному процесі в колі видно що дані співпадають (середньоквадратична похибка становить $\approx 3\%$), при цьому сила електродинамічного притискання електрда до зварного зеднання в 22 кН збігається з максимумом величини розрахункового струму. Також необхідно врахувати що вслїдстві від'ємної сили виявляється незначною, що підтверджує в рність використання діода [18-19]. При розрахованих технічних параметрах система а саме $I_{\text{max}} \approx 7$ кА і $F_{\text{max}} \approx 22$ кН розподіл густини струму в зварному зеднанні представлено на рис. 2.7

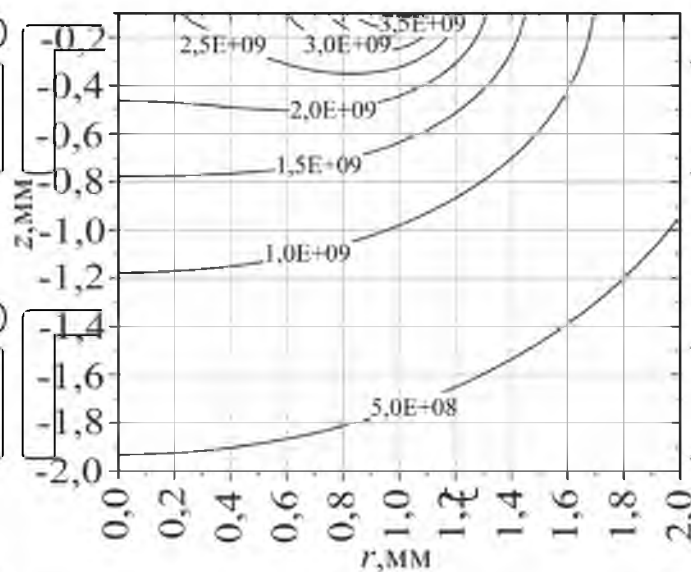


Рис. 2.7. Розподіл густини струму в зоні контакту електрода з зварним зеднанням

На представленому рисунку зображено границі зон, де густина струму перевищує позначені величини. Аналізуючи що бачимо що, що густина струму перевищує 10^9 А/м² у зоні, що лежить до половини еліпсоїда віссю 3,4 мм та напіввіссю в 1,2 мм, вочевидь в даній зоні ініціалізуються електропластичні ефекти.

РОЗДІЛ 3.

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

З огляду на виконані розрахунки електротехнічна система (рис. 2.1) виконана в складі електромеханічного перетворювачу індукційного типу та також джерела імпульсів струму, в залежності від конструктивних та електричних а також режимних характеристик системи які дозволяють реалізувати параметри струмових імпульсів, що потрібні для ефективної реалізації електродинамічної обробки зварних з'єднань [18].

Особливістю даної системи є здійснення електродинамічної обробки що поєднує в собі одночасну дію електродинамічної сили а також струму. Вочевидь в залежності від параметрів розрядного кола а саме: активного опору, індуктивності, ємності та напруги варіюється величини розрядного струму та його тривалість. Для варіювання електродинамічної сила притискання електрода до зварного з'єднання необхідно змінювати величину розрядного струму, на значення якого в свою чергу мають вплив конструктивні розміри елементів розрядного кола а саме котушки індуктивності й диска з закріпленим електродом.

3.1. Параметри електромеханічного перетворювача

В загальному випадку всі конструктивні параметри електротехнічної системи що розглядається поділямо конструкційні а також електричні. До до перших параметрів вочевидь належать геометричні параметри всієї електромагнітної системи в складі котушки, диска та електрода.

Щодо параметрів котушки геометричних їх можливо представити наступними: внутрішній, зовнішній діаметром, висота, кількість витків, коефіцієнтом заповнення та інші. Тому від варіації даних параметрів параметрів буде змінюватися індуктивність а також активний опір котушки індуктивності, що безумовно впливає на тривалість розрядного імпульсу а також амплітудне

значення струму а також на характер електродинамічної сили притискання електрода до зварного з'єднання. З відповідності до вище названого конструкція котушки індуктивності визначається, величиною потрібної електродинамічної сили впливу електрода на зварне з'єднання та параметрами струму в розрядному колі. З огляду на це котушка індуктивності виконується з декількох частин що з'єднані послідовно, при цьому одна котушка, розміщена в електромагнітній системі для створення електродинамічного зусилля, а друга розміщена в корпусі джерела живлення для можливості її регулювання. При цьому котушка індуктивності представлена плоскою для забезпечення максимальної взаємодії струмів з вихровими струмами, що виникають диску. Крім того самі розміри котушки індуктивності визначаються габаритними промірами системи. Завданням наступних досліджень стало: визначення геометричних розмірів диска, а також відстані між ним та котушкою, що забезпечать потрібну силу взаємодії струму в котушці індуктивності та викликаних вихрових струмів у диску; визначити необхідну площу контакту електрода зі зварним з'єднання при необхідності забезпечення максимального об'єму металу в зварному з'єднанні. Проведені розрахунки виконувались для конструктивних параметрів електротехнічної системи, що представлені в табл. 3.1.

На рис. 3.1 зображені залежності значень амплітуди електродинамічної сили, з якою диск взаємодіє з котушкою індуктивності в залежності від товщини диска а також діаметра.

Крок розбиття необхідної розрахункової області диску, наступним чином, першзавсе розрахунок виконувався значенні в 1 мм вздовж його радіусу, і вздовж товщини, зменшувався та складав при цьому 0,5 мм. Було визначено необхідне значення електромагнітної сили при даних двох варіантах, з огляду на це середньоквадратичне відхилення значення електромагнітної сили в першому варіанті відрізняється від її значення в наступному випадку на 1%. То ж, розрахунки виконувались при кроці розбивання розрахункової області диска, що складає 0,5 мм.

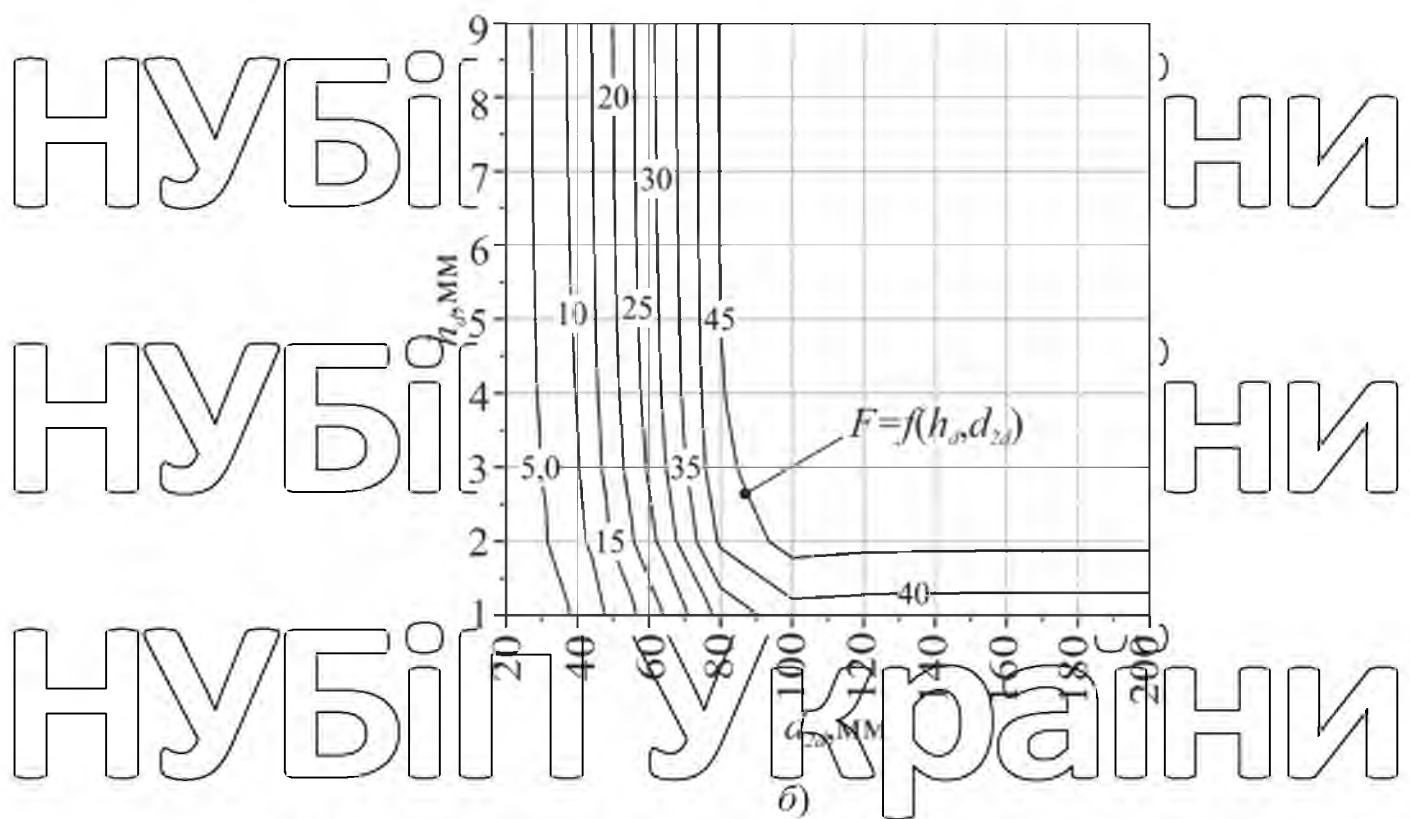
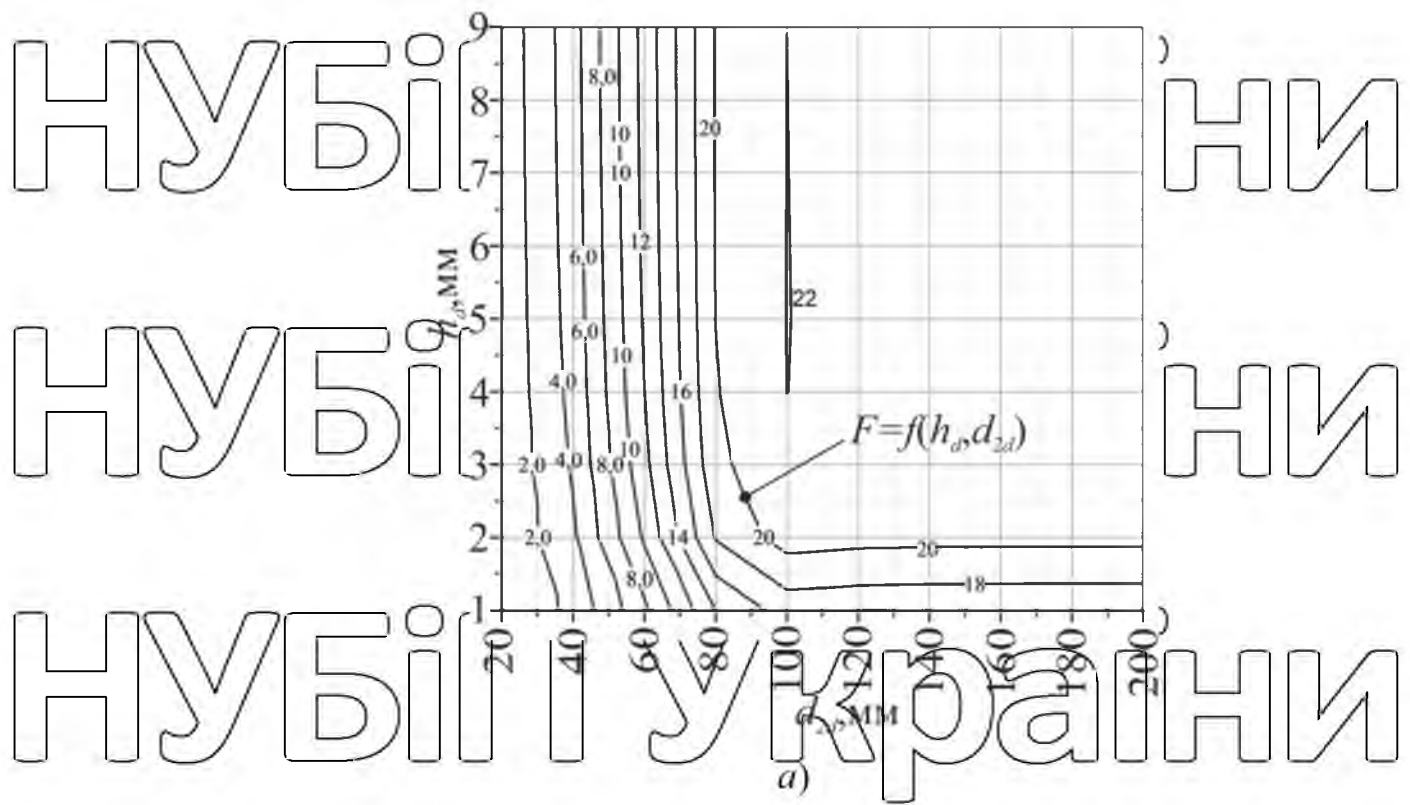


Рис. 3.1. Залежності амплітудного значення електромагнітної сили (кН), яка

діє на диск, залежності від його товщини а також діаметру: h_d — товщина диска; d_{2d} — зовнішній діаметр диска (а — напруга на ємності 500 В; б — напруга на ємності 750 В).

Проаналізувавши отримані значення на рис. 3.1, переконані, що величина електродинамічної сили залишається незмінною в випадку товщини диска більше, ніж 4 мм, крім того не потрібно збільшувати діаметр диска на значення більше, ніж до 100 мм. З огляду на це, що вибір діаметра диска більшого за розміри котушки індуктивності не обумовить до збільшення електродинамічної сили. Крім того, необхідно врахувати що зростання величини амплітуди електродинамічної сили в залежності від величини напруги на ємності відбувається швидше по відношенню до квадратичного закону. На рисунку 3.2 представлено миттєві значення сили струму в колі та миттєві значення електромагнітної сили, яке впливає на вихрові струми в диску по відношенню до струмів в обмотці котушки індуктивності, в залежності від різних значень товщини диска.

Тому цілком впевнено можна говорити про те що миттєва сила струму, так і миттєві значення електромагнітної сили в випадку товщини диска більше, ніж 3 мм не буде варіюватися протягом часу. Слід врахувати що в виконаних розрахунках діаметр диска удвічі ($d_{2d} = 200$ мм) перевищував зовнішній діаметр котушки індуктивності, знехтувати впливом крайового ефекту. На рис. 3.3 проведені аналогічні до рис. 3.2 розрахунки, лише при зміні зовнішнього діаметра диска при незмінній його товщині, в $h_u = 3$ мм. Проаналізувавши отримані результати можна чітко стверджувати що як миттєва сила струму а також і миттєві значення електромагнітної сили при зовнішньому діаметрі диску більше, ніж 100 мм, який буде дорівнювати зовнішньому діаметру котушки індуктивності, не буде варіювати свій характер протягом часу. При цьому амплітуда електродинамічної сили буде залежати як від величини проміжку між диском і котушкою індуктивності. На рис. 3.4 представлені графіки залежності амплітуди електромагнітної сили, яка впливає на диск, в відповідності від проміжку між котушкою та диском для декількох, значень напруги на конденсаторі в 500 В (рис. 3.4, а) а також 700 В (рис. 3.4, б). Аналізуючи отримані результати можна сміливо стверджувати що зменшення амплітуди

електродинамічної сили в разі одночасного зменшення амплітуди імпульсного струму в колі, викликається зростанням індуктивності котушки індуктивності.

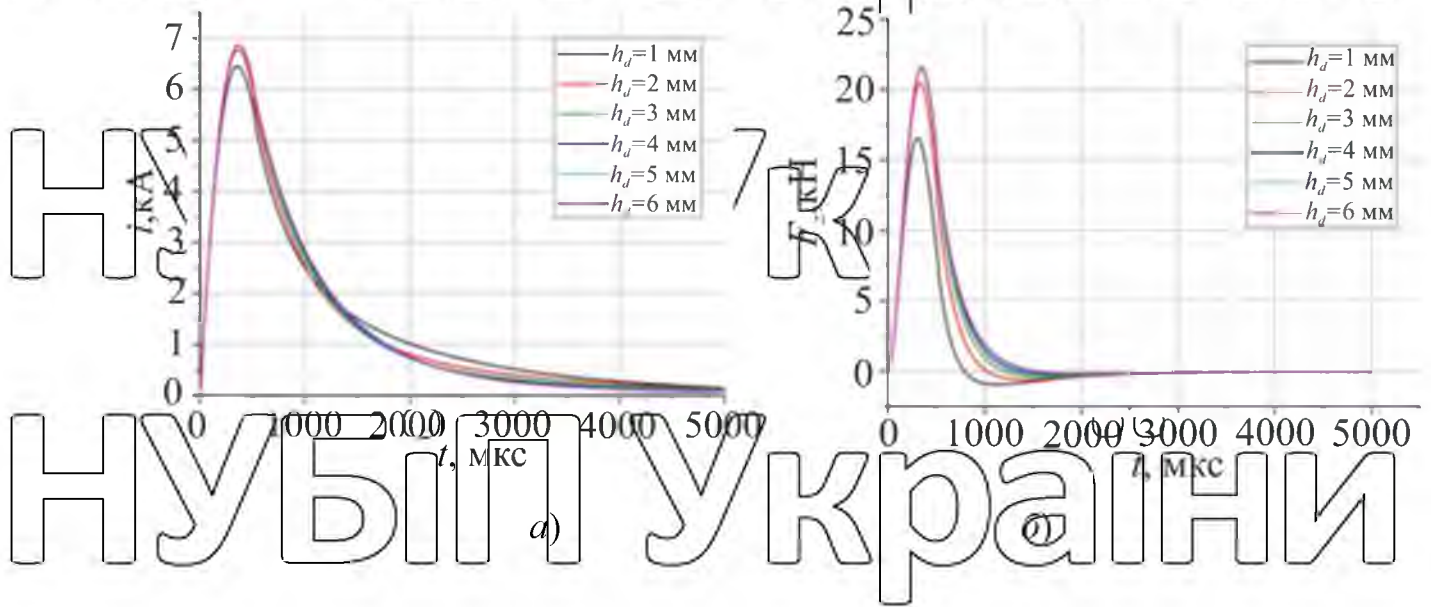


Рис. 3.2. Залежності миттєвого значення сили струму (а) у розрядному колі

а також миттєвого значення електромагнітної сили (б), в залежності від різних значень товщини h_d диска (зовнішній діаметр диска складає $d_{2d} = 200$ мм).

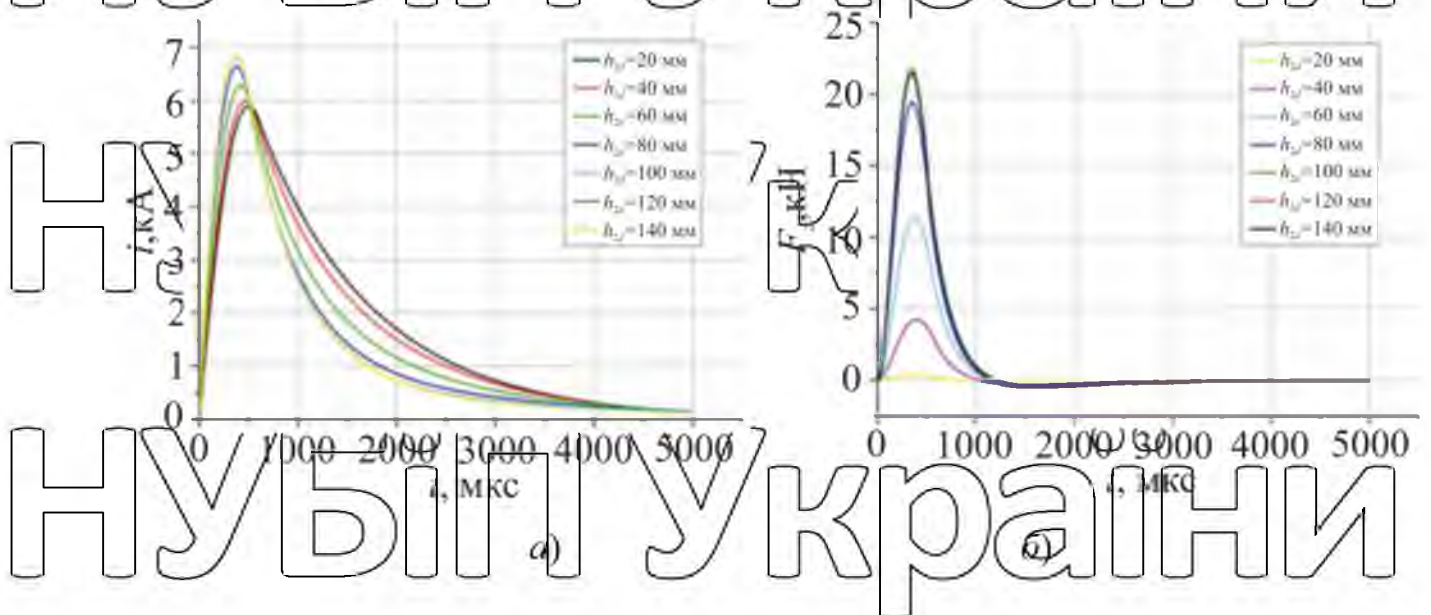


Рис. 3.3. Залежності миттєвого значення сили струму (а) в колі а також

миттєвого значення електромагнітної сили (б), яка впливає на вихрові струми в масивному диску в залежності від значень зовнішнього діаметра d_{2d} диска (товщина диска складає $h_d = 3$ мм).

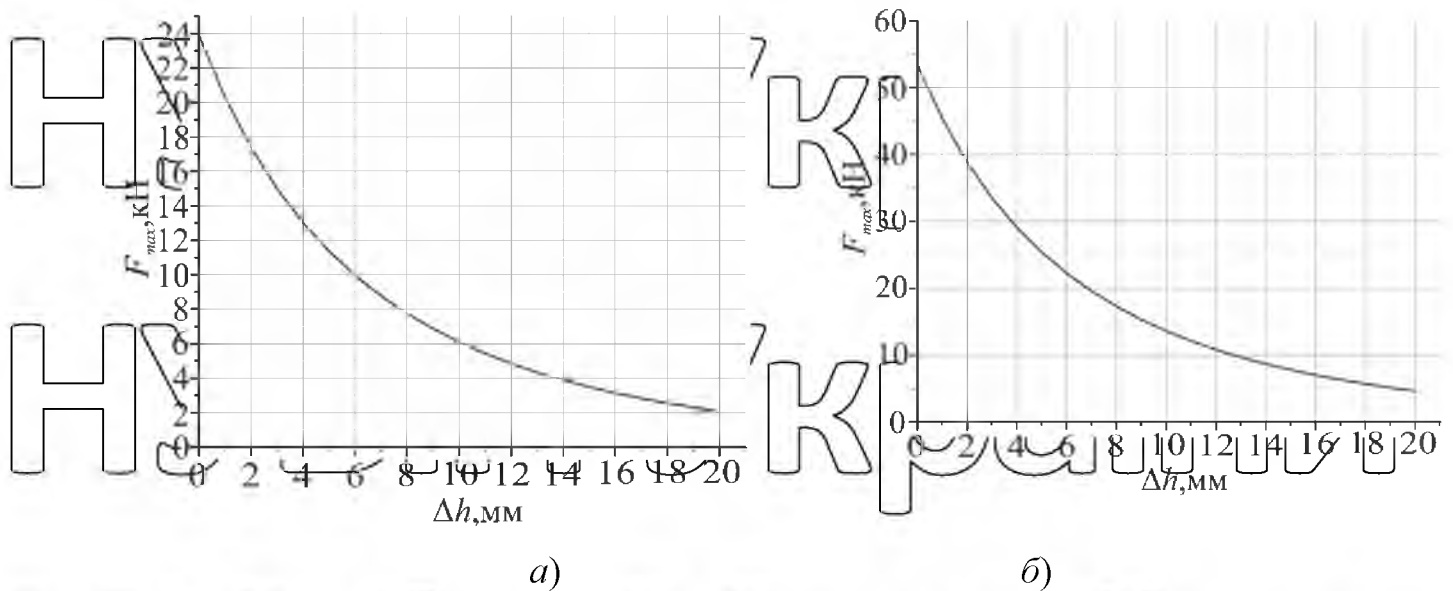


Рис. 3.4. Залежності амплітудного значення електромагнітної сили, що впливає на диск, в залежності від проміжку між диском та когуюшкою когуючої індуктивності, за варіювання напруги на конденсаторів в а) 500 В; б) 750 В.

Слід враховувати що важливою ланкою конструктивних параметрів електромеханічного перетворювача є геометричні характеристики електросида. З огляду на те, що ефективність електродинамічної обробки обумовлюється не величиною розрядного струму, густиною саме в зоні контакту електрода з зварним з'єднанням, тому розгляд цього питання є важливим. Відомо що при густині струму, за якої реалізується ефект електропластичної деформації, складає близько 10^9 А/м², наслідком чого є підвищення статичної а також втомної міцності зварних з'єднань а також релаксацію напружено-деформованого стану. На рис. 3.5, для прикладу представлені лінії величини (

$\times 10^9$ А/м²) де зображено розподіл густини струму в зварному з'єднанні в зоні контакту в відповідності до моменту часу, який відповідатиме макимальному значенню струму в контурі при представлених вище параметрах електромеханічного перетворювача для декількох значень контактної поверхні.

Залежності 4.5. а-4.5. д належать контакту у вигляді кола, діаметрами в 0,5 мм, 1 мм, 2 мм, 3 мм, а також 4 мм. Представлені взаємозалежності дозволяють визначити об'єм зварного з'єднання, де густина струму перевищує значення 10^9 А/м², та наслідком є зниження залишкових напружень.

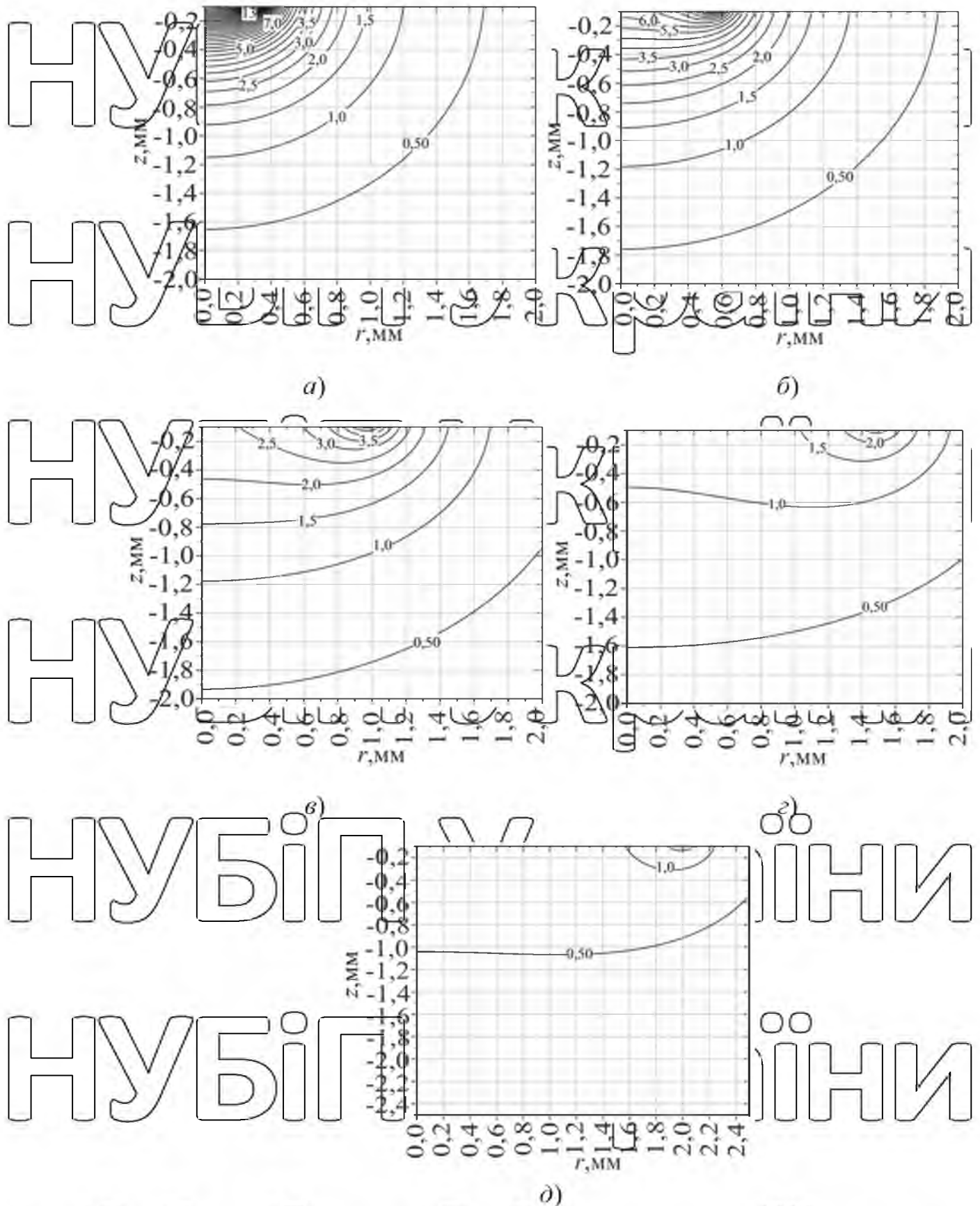


Рис. 3.5. Залежності рівня густини струму $j = J(z, r) (\times 10^9 \text{ A/m}^2)$ у зварному з'єднанні за діаметра площі контакту в: а) 0,5 мм, б) 1 мм, в) 2 мм; г) 3 мм; а також д) 4 мм.

На рис. 4.6 представлено залежності об'єму області зварного з'єднання, де густина струму більше чим значення в 10^9 А/м², в залежності від діаметра площі контакту електрода зі зварним з'єднанням а також та графіки миттєвого значення струму в колі за в відповідності до значень напруги на конденсаторі в (250, 500, 750 В).

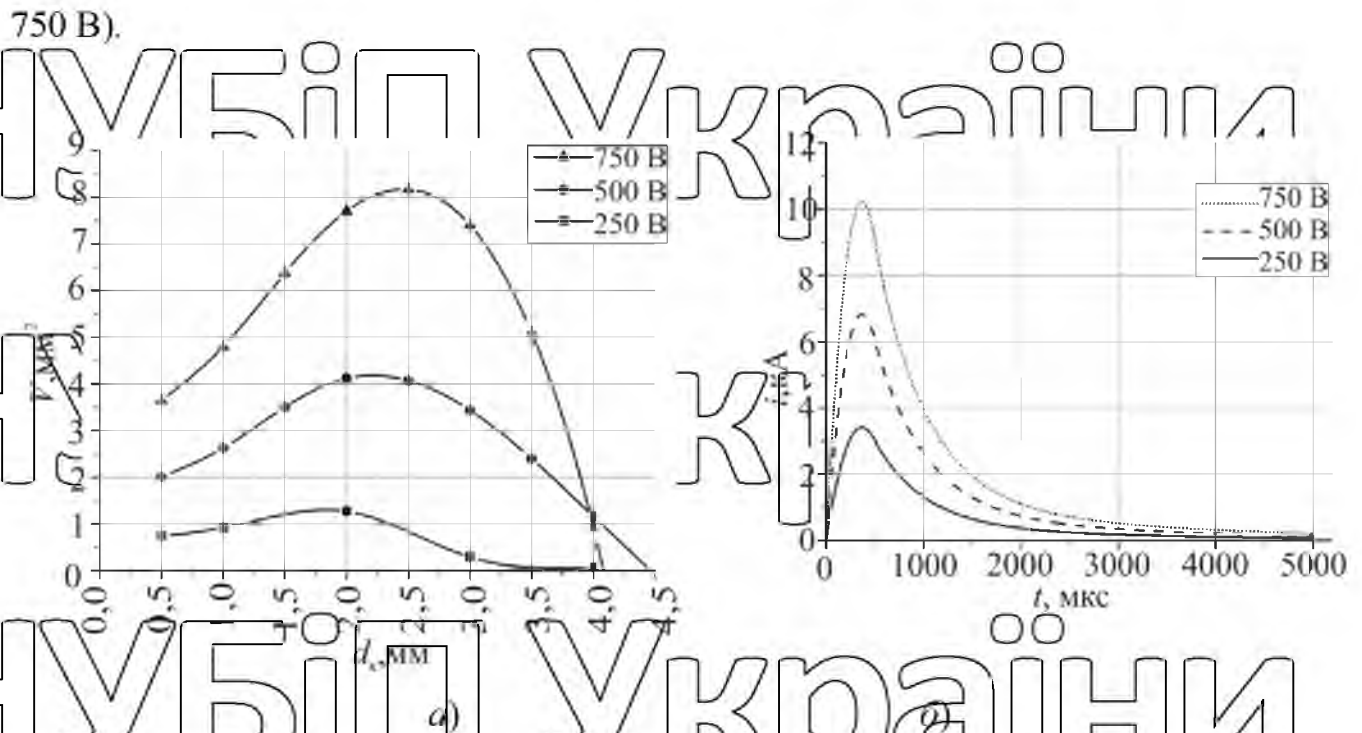


Рис. 4.6. Графіки залежності об'єму V області зварного з'єднання, з

густиною струму що перевищує значення в 10^9 А/м², в залежності від діаметра d_k площі контакту електрода з зварним з'єднанням (а) а також графіки миттєвого значення струму в колі розраунковому (б).

Підсумовуючи можна стверджувати що в випадку за діаметра контакту d_k

2,25 мм об'єм зварного з'єднання, де ініціалізуються умови створюються умови для електродинамічної обробки, приймає максимальне значення. В випадку якщо за діаметр площі контакту буде більшим ніж 4-4,5 мм об'єм області, де густина струму буде перевищувати значення в 10^9 А/м², близька до нуля [16-19]

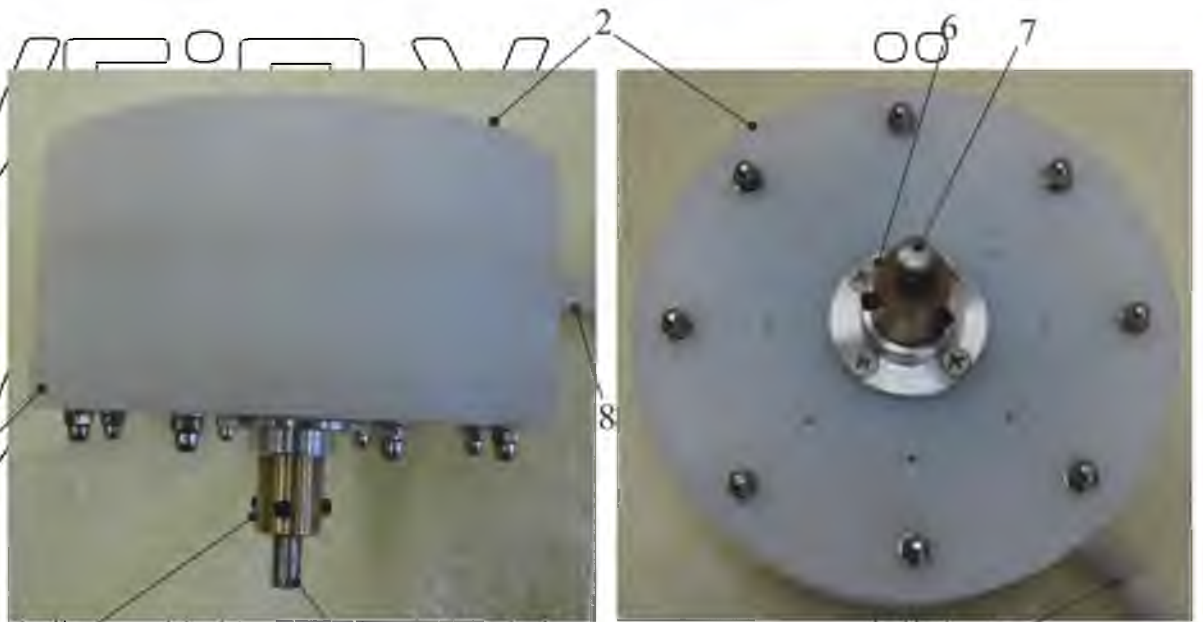
3.2. Конструкція електротехнічної системи

З огляду до проведених розрахунків було розроблений зразок пристрою для подальшого дослідження та визначення ефективності.

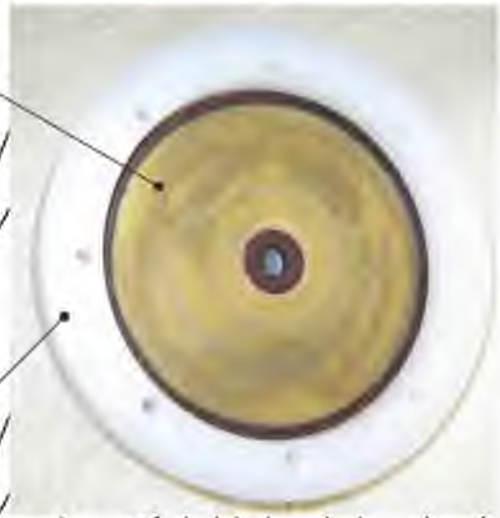
На рисунку 3.7, а. представлено електромагнітну систему для зниження залишкових напружень в зварних з'єднання за допомогою проведення електродинамічної обробки. Котушка індуктивності володіє наступними параметрами: діаметр, внутрішній – 20 мм, зовнішній – 92 мм, намотана шиною з геометричними розмірами $1,5 \times 5,6 \text{ мм}^2$ в складі 18 витків (рис. 3.7, б). Диск що розміщений під котушкою має діаметр 100 мм, висота 3 мм, особливістю виконання якого є два шари, мідь 4 та сталь 5, для підтримання динамічної міцності (рис. 4.7, в). Між диском та котушкою, прокладена текстолітова прокладка товщиною 0,6 мм. Крім того, будова системи дає можливість, підключення котушки індуктивності та електрода що розміщений на диску як до одного розрядного контура, так і під'єднання 8 кожного з них до різних котурів, що реалізує можливість здійснювати як сумісний вплив, так і вплив струма або електродинамічної сили окремо.

На диску закріплена обойма 6, яка дозволяє закріплювати електрод 7 за допомогою двох гвинтів, електрод має наконечник із радіусом заокруглення в 2,6 мм. Для необхідного центрування диска і котушки індуктивності вони розміщуються в корпусі 2, 3 що стягується гвинтами. Для підключення та подачі живлення на системи використовуються виводи 8. Для розміщення на поверхні та виконання обробки вся конструкція монтується на ніжках, окрім того на верхній книшці розміщується вантаж який забезпечує надійний контакт а також запобігає розриву кола під час виконання обробки.

На рис. 3.8. представлено дрежело імпульсів струму призначення якого полягає в подачі імпульсів та живленні електромеханічного передворювача. Крім того виконня даного джерела дозволяє можливість зміни параметрів імпульсу за рахунок індуктивності та зміни напруги на конденсаторах в залежності від необхідної ефективності здійснення обробки.



а)



б)

в)

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

Експериментально виявлені наступні особливості здійснення електродинамічної обробки для її ефективності й відтворюваності необхідно, перш за все здійснити контакт між електродом і зварним з'єднанням, електрод в місці контакту з зварним з'єднанням повинен бути шліфований та крім того мати

радіус заокруглення в 2,5 мм [16-19], крім того не обов'язково здійснювати обробку безпосередньо по зварному шву, обробку можна також виконувати на деякій відстані але при цьому необхідно щоб зварне з'єднання попадало в межі де реалізується електропластичний 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

Експериментальні дослідження базувалися на виконання розрахунків, при цьому досліджували вплив електродинамічної обробки при напрузі на конденсаторів в $U_c = 500$ В, дане значення рівнозначне електродинамічному

зусиллю в $F_{\max} = 22$ кН, тому для зниження напружень розтягу $\sigma_x = 140$ МПа у зразках алюмінієвого сплаву, дослідження виконувалося на сплаві АМГ-6.

Для досліджень взяли зразки пластин з алюмінієвого сплаву АМГ-6 які мали розміри 410x160x2 мм та мали по центрі зварний шов. Зварне з'єднання було виконано системою зварювання TIG при наступних параметрах, $U_{зв} = 20$ В, $I_{зв} = 175$ А та $U_{зв} = 5,6$ мм/с, для виконання електродинамічної обробки використовували систему технічні параметри якої представлено вище (рис. 2.1).

Для визначення розподілу поздовжньої компоненти σ_x залишкових напружень у зварному з'єднанні при центральному перерізі виконали використовуючи метод спекл-інтерферометрії [166], в даному випадку розподілення σ_x до, після електродинамічної обробки, представлено на рис. 3.9.

Початковий зусиль розтягування σ_x складає 165 МПа (крива 1 на рисунку), що безумовно близько лежить до порогу плинності $\sigma_{0,2}$ матеріалу над яким проводилось дослідження. Тож після обробки зварного з'єднання, при динамічному впливі, рівень σ_x знизився (крива 2), при чому варто відмітити що в зоні контакту електрода з зварним з'єднанням напруження розтягування перетворилися у стискання, $\sigma_x = -30$ МПа.

При здійсненні обробки що здійснює проходження струму через зварне з'єднання, рівень стискаючих залишкових напруження σ_x складає -80 МПа (крива 3), при цьому зона їх розміщення складає 20 мм, при цьому захоплюючи зону можливого небажаного руйнування зварного шва.

Тому можна стверджувати що при прохоженні струму через зварне з'єднання [17-19], інтенсифікує деформаційні процеси, реалізовані електродинамічним тиском електрода при зусиллі F_{\max} , що розраховано вище не лише в зоні електропластичного ефекту а й за її деякими границями.

Представлені на рис. 3.9 експериментальні дослідження безсумнівно підтверджують вплив електродинамічної обробки на зниження залишкових напружень в зварних з'єднаннях розтягу з подальшою їх перетворенням у напруження стискання. В відповідності до [19], поля напруження напружень

стискання у зоні можливого руйнування зварного шва дозволяє підсилити їх супротив утоми за випадку реалізації циклічних навантажень. Тому для підтвердження даних роздумів щодо підвищення втомної міцності зварних з'єднань, що піддавались обробці за схемою (рис. 2.1), виконали дослідження зразків зварних з'єднань, при геометричних характеристиках на рис. 3.10, де напрямок а також зона обробки зварного з'єднання позначені. Аналізуючи результати бачимо що розподіл напружень σ_x у необроблених зразках був близький до представленого на кривій 1 (рис. 3.9), а після проведення електродинамічної обробки кривій 3.

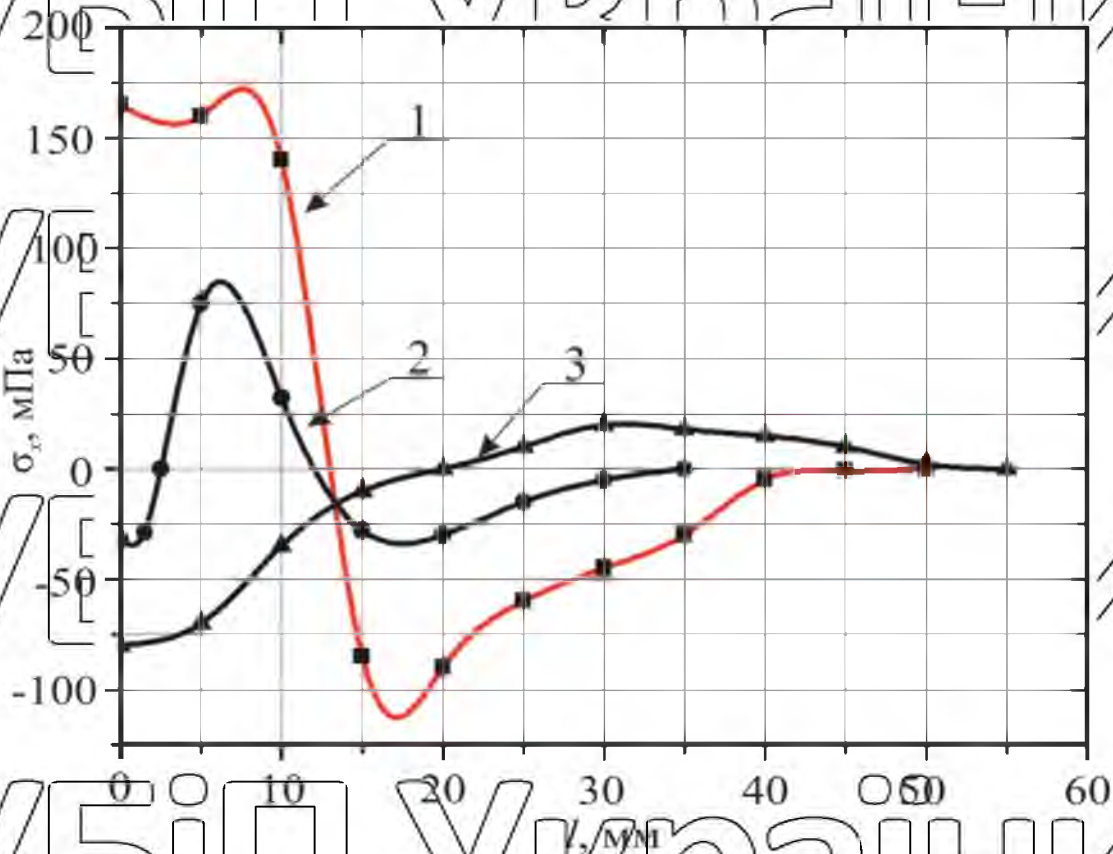


Рис. 3.9. Розподіл залишкових зварювальних напружень σ_x , МПа криві: 1

– вихідний рівень залишкових напружень; 2 – рівень напружень після реалізації динамічної обробки зварних з'єднань; 3 – рівень залишкових напружень після реалізації електродинамічної обробки.

Дані дослідження виконувалися протягом часу до того моменту поки не з'явилась втомна тріщина при цьому виконувалась реєстрація кількості циклів N , які будуть відігравати початку руйнування зварного шва.

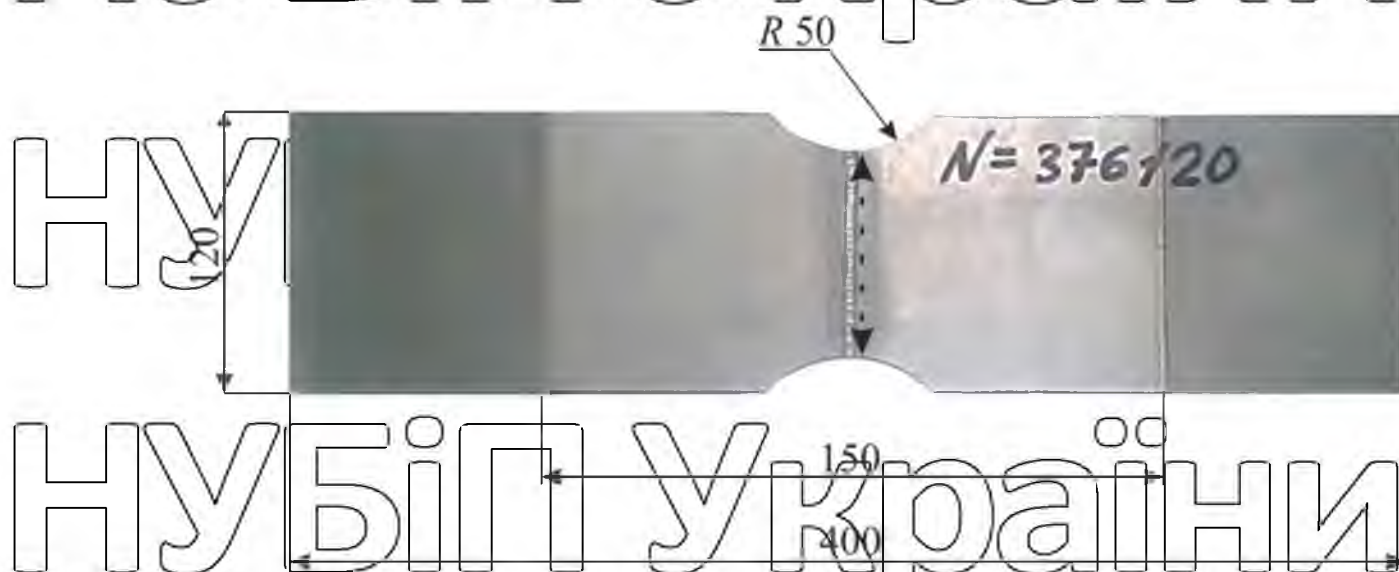
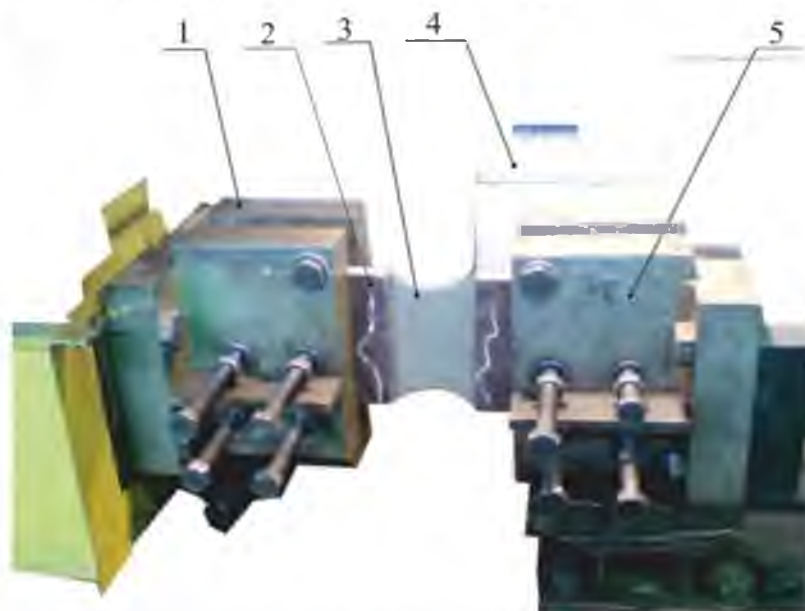


Рис. 3.10. Геометричні розміри зразків зварного шва

Для досліджень було застосовано спеціальну машину УГМ-02 (рис. 3.11), яка дозволяє вимірювати втомні іспити на вигинання (рис. 3.12) при симетричному навантаженні.



В межах діапазону 80–160 МПа задається амплітуда циклу σ_a , яка відповідає варіації експлуатаційних навантажень зварних з'єднань для сплаву, що досліджувався АМг-6. Криві втоми, які вочевидь характеризують циклічну міцність що розглядається при дослідженнях на вигин необроблених зварних з'єднань (крива 1) а також зразків які піддавались обробці (крива 2), представлено на рисунку 3.12.

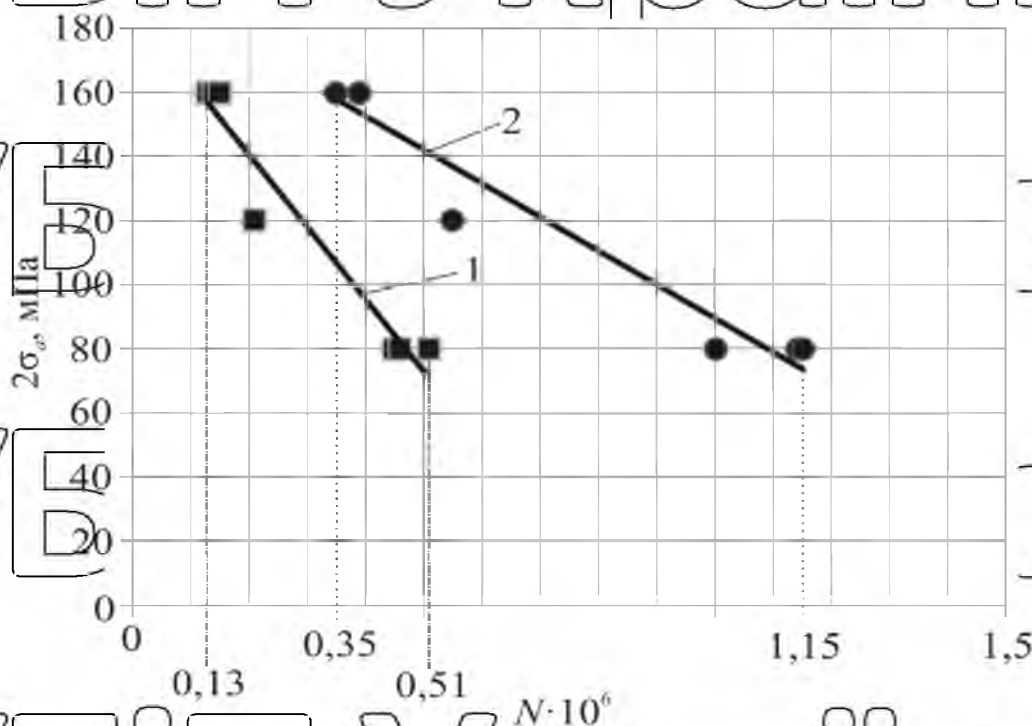


Рис. 3.12. Втоми залежності, що пояснюють циклічну міцність при дослідженні зварних з'єднань (1) а також зразків які піддавались обробці (2).

Проведений аналіз результатів досліджень сигналізує що при максимальній амплітуді циклу в $2\sigma_a = 160$ МПа довговічність N оброблених зварних з'єднань підвищується вдвічі. При $2\sigma_a = 80$ МПа що відповідає мінімальному значенню, де вплив напружень на міцність найбільш легко спостерігати, значення N підвищуються в тричі. Отже, поява напружень стискання в зварних з'єднаннях за умови реалізації електродинамічної обробки на режимі, розрахованому що була представлена вище, сприяє зростанню втоминої міцності зварних з'єднань для алюмінієвого сплаву АМг-6.

РОЗДІЛ 4.

ПРОЕКТУВАННЯ РЕМОНТНО-ОБСЛУГОВУЮЧОЇ БАЗИ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ПІДПРИЄМСТВА

4.1. Обґрунтування проекту ремонтно-обслуговуючої бази зварювального підприємства

На сьогодні існує декілька варіантів проектів ремонтно-обслуговуючої бази зварювального підприємства, призначення яких полягає зварювання тонколистових деталей лицювання, кузовів, заварка тріщини, приварювання і наплавлення деталей в складі сільськогосподарських підприємств. Ремонтно-обслуговуючої бази зварювального підприємства призначена для відновлення спрацьованих деталей шляхом зварювання та наплавлення. У відділенні виконують роботи з усунення дефектів деталей із сталі, алюмінієвих сплавів і чавунів за допомогою дугового зварювання та наплавлення, найважливішого зварювання у середовищі двооксиду вуглецю, газового зварювання та наплавлення, а також застосовується точкове зварювання листового сталевих матеріалу.

4.2. Розрахунок освітлення

Виконаємо розрахунок освітлення виробничих (висота 5,2 м) а також побутових, підсобних приміщень, (висотою 2,6 м.) ремонтно-обслуговуючої бази зварювального підприємства за допомогою світильниками які укомплектовані світлодіодними лампами [20]. Для виконання розрахунків використаємо метод використання світлового потоку, шляхом розрахунку загального освітлення горизонтальної поверхні в закритих приміщеннях, за допомогою наступного виразу:

$$\Phi = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta} \quad (4.1)$$

де Φ – світловий потік світлодіодної лампи, лм; E – нормована освітленість кімнати, лк; S – площа кімнати, м²; z – коефіцієнт що враховує нерівномірність освітлення, $z = 1,15$; k – коефіцієнт запасу ($k = 1,15$); N – кількість ламп, шт; η – коефіцієнт використання світлового потоку лампи.

Опираючись на необхідні нормовані значення освітленості підприємств вибираємо нормовану освітленість в $E = 30$ лк [20].

В зв'язку з умовами виробництва використовуємо світильники марки НСП11х100 що рекомендовані для застосування в промислових підприємствах, має підвісне виконання а також пило-вологозахисений, технічні характеристики представлено 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

Розрахуємо потрібну, загальну кількість світильників, враховуючи умови їх розміщення в відповідності за потрібною відстанню між ними L , м, $\lambda = 1$:

$$L = l \cdot H_p, \quad (4.2)$$

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

Отже маємо,

$$L = 1 \cdot 2,5 = 2,5 \text{ м.}$$

маємо потрібну кількість світильників N_a , шт, та також кількість світильників у розрахунковому ряду N_b використовуючи наступні вирази.

$$N_a = v/L, N_b = a/L; \quad (4.3)$$

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

По результатах розрахунків маємо,

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

Загальна кількість світильників в кімнаті:

$$N = N_a \cdot N_b = 2 \cdot 2 = 4 \text{ шт,}$$

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

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

а також визначимо індекс приміщення [13]:

$$i = a \cdot v / (a_p (a + v)) = 5 \cdot 5,5 / (2,5 \cdot (5,5 + 5)) = 1,04.$$

Для розрахункової кімнати визначимо [21] знаходимо коефіцієнт використання світлового потоку $\eta = 0,37$.

В результаті отримаємо (4.1):

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

З огляду на розрахунки виберемо лампу Vestum LED A65 технічні характеристики представлено в таблиці 3.2.

Превіркою правильності виконання розрахунків є аналіз різниці між розрахунковим світловим потоком Φ для вибраної лампи а також фактичним потоком вибраної лампи Φ_f , який не повинен перевищувати значення в (+20% і -10%) що враховуються при розрахунках. Для розрахунків інших кімнат та підсобних приміщень розрахунки виконаємо аналогічним шляхом, результати розрахунків зведемо до світлотехнічної відомості представлену в графічній частині дипломного проекту.

Також виконаємо розрахунок освітлення використовуючи промислові світильники для дільниці заготівлі конструкцій.

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

Використаємо світильник ПВЛМ 2x40 технічні характеристики якого на представимо в таблиці 4.3 також використаємо лампи Optima T8 G13, технічні характеристики представимо в таблиці 4.4.

Таблиця 4.3

Технічні характеристики світильника ПВЛМ 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 розрахункової кімнати за наступним виразом:

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

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

($z=1,1$); S – площа кімнати, м; E – нормована освітленість кімнати лк;
 $E = 300$ лк.

Отримаємо:

$$S = a \cdot b = 5,5 \cdot 5,5 = 30,25 \text{ м}^2.$$

В відповідності до виконаних розрахунків та вибраного обладнання визначимо для розрахункової кімнати індекс приміщення з врахуванням коефіцієнту відбиття стелі, стін а також підлоги:

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

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

Отже за допомогою (4.1) ми отримаємо:

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

кількість світильників в кімнаті розрахуємо за наступною формулою:

$$N = \Phi_p / \Phi_{\text{л}} = 29493,75 / 4680 = 6,3.$$

Тому в відповідності до розрахунків та вибраного обладнання виберемо 6

світильників ПВЛМ 2x40 з світлодіодними лампами Optima T8 G13

розташуємо їх по периметру кімнати [21].

Підракуємо потужність всієї системи освітлення допомогою наступного виразу, кВт:

$$P = P_{\text{л}} \cdot N \cdot n \quad (4.5)$$

де $P_{\text{л}}$ – потужність вибраних світлодіодних ламп, кВт; N – загальна кількість світильників, шт; n – кількість ламп в одному світильнику, шт;

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

Для повного визначення потужності системи освітлення врахуємо втрати потужності в пускорегулювальних апаратах системи:

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

Для розрахунку наступних кімнат в підприємстві здійсимо розрахунок аналогічно, використовуючи метод питомої потужності та результати зведемо в світлотехнічну відомість.

4.2. Вибір апаратів керування і захисту

Необхідно врахувати що апарати керування а також захисту електрообладнання безумовно повинні відповідати вимогам ПУЕ і НТЕ [1, 2]. Проведемо вибір та наступну перевірку пускозахисної апаратури для приводу вентилятора, який встановлюється на ремонтній дільниці електрообладнання.

Технічні характеристики електродвигуна АИР71А2У3 зведемо в таблицю 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

В відповідності до умов які визначають вибір автоматичного вимикача для живлення електричного двигуна вентилятора:

- 1) $U_{\text{ап}} \geq U_{\text{мережі}}$
- 2) $I_{\text{нап.вим}} \geq I_{\text{ном.дв}}$
- 3) $I_{\text{стр}} \geq I_{\text{н.дв}}$
- 4) $I_{\text{ел.м.розр(відсічки)}} \geq I_{\text{неспр}}$

де: $U_{авт}$, $U_{мережі}$ – напруга автоматичного вимикача, мережі, В; $I_{н.авт.вим}$, $I_{н.дв}$ – струми автоматичного вимикача, електричного двигуна, А; $I_{тр}$ – струм теплового розчіплювача, А; $I_{неспр}$ – струм неспрацювання електромагнітного

розчіплювача, А; $I_{ел.м.розр(відсічки)}$ – струм відсічки, А.

В пункті розподілення ПР8501-023 УЗ змонтований автоматичний вимикач ВА-51-25 його технічні характеристики зведено в таблицю 4.6.

Таблиця 4.6

Технічні характеристики автоматичного вимикача ВА 51-25

$U_{авт} = 660 \text{ В};$
$I_{н.авт.вим} = 100 \text{ А}, I_{уст.ел.м.розч} = 3,15 \text{ А}, K_i = 7 I_{н.р};$
$I_{неспр} = 1,65 \cdot I_{пуск} = 1,65 \cdot 9,35 = 15,42 \text{ А};$
$I_{відсічки} = K_i \cdot I_{уст.ел.м.розч} = 7 \cdot 3,15 = 22,05 \text{ А}$
Враховано що нам потрібний автоматичний вимикач триполюсний, що має електромагнітний розчіплювач; не має допоміжних контактів. Ступінь захисту вимикача – IP30.

Наступним кроком є перевірка умови вибору автоматичного вимикача та зведено в таблицю 4.7.

Таблиця 4.7

Перевірка умов вибору автоматичного вимикача ВА 51-25

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

Для дистанційного пуску електричного двигуна виберемо електромагнітний пускач серії ПМЛ, в відповідності до умов вибору представлених в таблиці 4.8:

Таблиця 4.8

Умови вибору електромагнітного пускача ПМЛ

$U_{\text{пуск}} \geq U_{\text{мережі}}$
$I_{\text{н.пускача}} \geq I_{\text{н.дв.}}$
$I_{\text{т.р.}} \geq I_{\text{н.дв.}}$
$I_{\text{нар.сл.}} > I_{\text{н.дв.}}$ та подальшим регулюванням струму неспрацювання на $I_{\text{н.дв.}}$
$U_{\text{кот.}} = U_{\text{к.к.}}$

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.

Перевіримо умови вибору електромагнітного пускача що зведено 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, непереверсивний; ступінь захисту IP54;
$U_{\text{ком}} = 220 \text{ В} = U_{\text{к.к}} = 220 \text{ В}.$

Зкомплектуюмо електромагнітний пускач тепловим реле типу РТД-1007-04 що володіє діапазоном регулювання сили струму неспрацювання в границях від

1,5 – 2,6 А. При цьому сила струму реле лежить в межах 25 А, в відповідності на дані параметри вибору теплового реле виконуються.

Використаємо низьковольтний комплектний пристрій шафу 5115-2374УКЛ2, наступні результати проведених розрахунків а також вибору пускозахисної апаратури керування і низьковольтних комплектних пристроїв представлені на графічній частині дипломного проекту.

Для розподільчого пристрою застосуємо розподільчий пункт ПР-11-3-078 з який комплектується автоматичним вимикачем на ввіді ВА51-39 та автоматичними вимикачами ВА51-25 на виході з кожної фази. Для мережі освітлення використаємо шафу ВЩОВ-25-6 яка комплектується автоматичними вимикачами на відхідних фазах ВА47-29 та автоматичним вимикачем ВА 47-29 що розміщується на ввіді, що зображено на графічній частині дипломного проекту.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 5.

ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ЗВАРЮВАЛЬНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

1. Правила з охорони праці при виконанні електрозварювальних і газозварювальних робіт встановлюють нормативні вимоги охорони праці при виконанні електрозварювальних і газозварювальних робіт. Правила є обов'язковими для виконання роботодавцями - юридичними та фізичними особами незалежно від їх організаційно-правових форм і форм власності і працівниками, які перебувають з ними у трудових відносинах, при виконанні електрозварювальних і газозварювальних робіт.

2. Правила поширюються на працівників, які виконують електрозварювальні і газозварювальні роботи, які використовують в закритих приміщеннях або на відкритому повітрі стаціонарні, переносні і пересувні електрозварювальні і газозварювальні установки, призначений для виконання технологічних процесів сварки, наплавки, різання плавленням і сварки із застосуванням тиску[22].

3. Відповідальність за виконання Правил покладається на роботодавця. На основі Правил та вимог технічної документації заводу-виготовлювача на конкретні види електрозварювального, газозварювального обладнання та інструменту роботодавцем розробляються інструкції з охорони праці для професій та (або) видів виконуваних робіт, які затверджуються локальним нормативним актом роботодавця, з урахуванням думки відповідного профспілкового органу або іншого уповноваженого працівниками представницького органу (при наявності).

4. У разі застосування методів робіт, матеріалів, технологічного оснащення, обладнання та інструменту, вимоги до безпечного застосування яких не передбачені

5. Роботодавець забезпечує:

1) зміст електрозварювального, газозварювального обладнання та інструменту в справному стані і їх експлуатацію в відповідно до вимог Правил і технічної документації заводу-виготовлювача;

2) навчання працівників з охорони праці та перевірку знань вимог охорони праці;
3) контроль за дотриманням працівниками вимог інструкцій з охорони праці.

6. При виконанні електрозварювальних і газозварювальних робіт на працівників можлива дія шкідливих і (або) небезпечних виробничих факторів, в тому числі:

- 1) замикання електричного кола через тіло людини;
- 2) підвищена загазованість повітря робочої зони, наявність в повітрі робочої зони шкідливих аерозолів;
- 3) підвищена або знижена температура повітря робочої зони;
- 4) підвищена температура оброблюваного матеріалу, виробів, зовнішньої поверхні обладнання і внутрішньої поверхні замкнутих просторів, розплавлений метал;
- 5) ультрафіолетове і інфрачервоне випромінювання;
- 6) підвищена яскравість світла при здійсненні процесу зварювання;
- 7) підвищені рівні шуму і вібрації на робочих місцях;
- 8) розташування робочих місць на значній висоті відносно поверхні землі (підлоги);
- 9) фізичні і нервово-психічні перевантаження;
- 10) виконання робіт у важкодоступних і замкнутих просторах;
- 11) падаючі предмети (елементи обладнання) і інструмент;
- 12) рухомі транспортні засоби, вантажопідйомні машини, що переміщуються матеріали і інструмент.

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

5.1. Вимоги охорони праці при організації проведення робіт

8. До виконання електрозварювальних і газозварювальних робіт допускаються працівники віком не молодше 18 років, що минули обов'язковий

попередній медичний огляд, інструктажі з охорони праці, навчання безпечним методам і прийомам виконання робіт, стажування на робочому місці і перевірку знань в установленому порядку. Періодична перевірка знань проводиться не рідше одного разу на 12 місяців. Працівники повинні мати групу з електробезпеки відповідно до Правил з охорони праці при експлуатації електроустановок.

9. До виконання робіт із застосуванням електрошлакового зварювання допускаються зварники і помічники зварників, що пройшли додаткове навчання за технологією виконання електрошлакового зварювання.

10. Працівники забезпечуються засобами індивідуального захисту відповідно до типових норм і Міжгалузевими правилами забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту.

Вибір засобів колективного захисту працівників здійснюється з урахуванням вимог безпеки для конкретних видів робіт [24].

11. Режими праці і відпочинку працівників встановлюються правилами внутрішнього трудового розпорядку і іншими локальними нормативними актами роботодавця відповідно до трудового законодавства.

12. Працівник зобов'язаний негайно сповіщати свого безпосереднього або вищестоящого керівника про кожен нещасний випадок на виробництві, про всі помічені ним порушення: працювати з несправними обладнанням, інструментом і пристосуваннями, а також засобами індивідуального та колективного захисту забороняється.

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

13. Забороняється закривати проходи і проїзди всередині будівель (споруд), виробничих приміщень (виробничих майданчиків) для забезпечення безпечного пересування працівників і проїзду транспортних засобів [25].

14. Переходи, сходи, площадки і поручні до них повинні міститися в справному стані і чистоті, а розташовані на відкритому повітрі очищатися в зимовий час від снігу і льоду та посягатися піском.

15. Зварювальні цехи, ділянки та стаціонарні робочі місця повинні відповідати вимогам санітарно-гігієнічного законодавства.

16. У зварювальних цехах і на ділянках обладнується загально обмінна вентиляція, а на стаціонарних робочих місцях – місцева вентиляція, що забезпечує зниження вмісту шкідливих речовин в повітрі робочої зони до рівня, що не перевищує рівень гранично допустимої концентрації.

17. Ділянки газо-пелум'яної обробки металів із значним надлишком тепла і утворенням зварювального аерозолу розміщуються в одноповерхових будівлях.

18. У складально-зварювальних цехах в холодні і перехідні періоди року слід застосовувати повітряне опалення з регульованою подачею повітря.

У теплу пору року в складально-зварювальних цехах слід використовувати природну вентиляцію через відкриваються отвори вікон, світлових ліхтарів і дверей (воріт).

19. Майданчик, на якій встановлюється контейнер зі зрідженим газом, повинна мати металеве огорожу. Між контейнером (посудиною-накопичувачем) і огорожею забезпечується прохід шириною не менше 1 м. Поблизу контейнера (судини-накопичувача) не повинно бути джерел нагріву.

При установці контейнера (судини-накопичувача) на відкритому повітрі він обладнується навісом, що захищає його від впливу прямих сонячних променів і опадів.

20. На стаціонарних робочих місцях електрозварників і газозварників при роботі в положенні «сидячи» встановлюються поворотний стілець зі змінною регульованою висотою і підставка для ніг з похилою площиною опори.

При роботі в положенні «стоячи» встановлюються спеціальні підставки (підвіски), що зменшують статичне навантаження на руки зварників.

Забороняється зменшувати навантаження на руку за допомогою перекидання кабелю через плече або навивки його на руку.

21. На стаціонарних робочих місцях газозварників встановлюється стійка з гачком або виделкою для підвіски погашених пальників або різаків під час перерв в роботі.

22. Стаціонарне робоче місце, призначене для проведення автоматичної і механізованої електрозварювання в захисних газах і їх сумішах, обладнується:

1) зварювальним устаткуванням і оснащенням робочого місця відповідно до вимог технологічного процесу;

2) вбудованими в технологічне оснащення або зварювальну головку пристроями для видалення шкідливих газів і пилу.

23. При організації робочих місць на ділянках електрозварювальних поточно-механізованих ліній необхідно дотримуватися таких вимог:

1) для автоматизованих процесів електрозварювання, що супроводжуються утворенням шкідливих аерозолів, газів і випромінювань, перевищують гранично допустимі рівні, передбачається дистанційне керування, а також використання засобів індивідуального захисту;

2) для видалення шкідливих пило-газовиділень передбачаються пилоприймачі, вбудовані або зблоковані з зварювальними автоматами або напівавтоматами, агрегатами, порталами або маніпуляторами;

3) пульти керування вантажопідіймальними транспортними засобами об'єднуються (розташовуються в безпосередній близькості) з пультами управління електрозварювальними обладнаннями;

4) обладнання і пульти управління на електрозварювальних поточно-механізованих лініях розташовуються в одній площині, щоб уникнути необхідності переміщення працівників по вертикалі;

5) робочі місця операторів у об'єданого пульта автоматичного зварювання обладнуються кріслами або сидіннями зі спинками, виготовленими з нестеплопровідного матеріалу;

6) ділянки електрозварювальних поточно-механізованих ліній відокремлюються проходами від сусідніх ділянок, стін, під'їзних шляхів.

Відстань від місця зварювання до проходів повинно бути не менше 5 м. При

неможливості виконання цієї вимоги у місця виробництва електрозварювальних робіт встановлюються вогнетривкі екрани (ширми, щити).

24. При виконанні електрозварювальних і газозварювальних робіт з попереднім нагріванням виробів робота двох зварювальників в одній кабіні дозволяється тільки при зварюванні одного виробу.

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

26. Нестационарні робочі місця електрозварників в приміщенні при зварюванні відкритою електричною дугою відокремлюються від суміжних робочих місць і проходів негорючими екранами (ширмами, щитами) заввишки не менше 1,8 м.

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

27. При неможливості застосування безпечних і нешкідливих технологічних процесів здійснюються заходи щодо зниження рівнів небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

28. Електрозварювальні і газозварювальні роботи підвищеної небезпеки виконуються відповідно до письмового розпорядження – нарядом-допуском на виконання робіт підвищеної небезпеки, оформленим уповноваженими роботодавцем посадовими особами, відповідальними за організацію і безпечне проведення робіт.

У наряді-допуску визначаються зміст, місце, час і умови проведення робіт, необхідні заходи безпеки, склад бригади і працівники, відповідальні за організацію та безпечне проведення робіт.

Порядок виконання робіт підвищеної небезпеки, оформлення наряду-допуску та обов'язки посадових осіб, відповідальних за організацію і безпечне проведення робіт, встановлюються локальним нормативним актом 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. Оформлені і видані наряди-допуски реєструються в журналі, в якому рекомендується відображати такі відомості:

1) назву підрозділу;

2) номер наряду-допуску;

3) дата видачі;

4) короткий опис робіт за нарядом-допуском;

5) термін, на який видано наряд-допуск;

6) прізвища та ініціали посадових осіб, що видав і отримав наряд-допуск, завірені їх підписами із зазначенням дати;

7) прізвище та ініціали посадової особи, яка отримала закритий по виконанні робіт наряд-допуск, завірені його підписом із зазначенням дати.

32. До робіт підвищеної небезпеки, на виробництво яких видається наряд-допуск, відносяться:

1) електрозварювальні та газозварювальні роботи, що виконуються зовні і всередині ємностей з-під горючих речовин, роботи в закритих резервуарах, в цистернах, в колодязях, в колекторах, в тунелях, каналах і ямах, трубопроводах, роботи в топках і димоходах котлів, всередині гарячих печей;

2) електрозварювальні та газозварювальні роботи у вибухонебезпечних приміщеннях;

3) електрозварювальні та газозварювальні роботи, що виконуються при ремонті тепловикористовуючих установок, теплових мереж та обладнання;

4) електрозварювальні та газозварювальні роботи, що виконуються на висоті понад 5 м;

5) електрозварювальні та газозварювальні роботи, що виконуються в місцях, небезпечних щодо ураження електричним струмом (Об'єкти

електроенергетики та атомної енергетики) і з обмеженим доступом відвідування (приміщення, де застосовуються і зберігаються сильнодіючі отруйні, хімічні і радіоактивні речовини). Перелік робіт, що виконуються за нарядами-допусками, може бути доповнений роботодавцем.

33. Одноїменні роботи підвищеної небезпеки, що проводяться на постійній основі і виконуються в аналогічних умовах постійним складом працівників, допускається проводити без оформлення наряду-допуску за затвердженими для кожного виду робіт підвищеної небезпеки інструкції з охорони праці.

34. У холодний період року при виконанні електрозварювальних і газозварювальних робіт в приміщенні (цеху) заготовки і деталі, що підлягають зварюванню, подаються в приміщення (цех) заздалегідь, щоб до початку зварювання їх температура була не нижче температури повітря в приміщенні (цеху).

35. Перед початком виконання електрозварювальних і газозварювальних робіт слід переконатися, що поверхня зварюються заготовок, деталей і зварювального дроту суха і очищена від мастила, окалини, іржі та інших забруднень.

36. Поверхні зварюються і наплавляються заготовок і деталей, покритих антикорозійними грунтами, що містять шкідливі речовини, попередньо зачищаються від грунту на ширину не менше 100 мм від місця зварювання.

37. Не допускається проведення електрозварювальних і газозварювальних робіт з приставних драбин, а також одночасне виробництво електрозварювальних і газозварювальних робіт всередині ємностей.

38. Забороняється розміщувати легкозаймисті та вогненебезпечні матеріали на відстані менше 5 м від місця виробництва електрозварювальних і газозварювальних робіт.

39. При виконанні електрозварювальних і газозварювальних робіт на висоті працівники використовують спеціальні сумки для інструменту і збору огірків електродів.

40. При виконанні електрозварювальних і газозварювальних робіт на висоті понад 5 м встановлюються лісу або площадки з негорючих матеріалів.

41. Одночасна робота на різних висотах по одній вертикалі проводиться при забезпеченні захисту працівників, які працюють на нижніх ярусах, від бризок металу, падіння отірків електродів і інших предметів.

42. При виконанні електрозварювальних і газозварювальних робіт на відкритому повітрі над зварювальними установками і зварювальними постами споруджуються навіси з негорючих матеріалів для захисту від прямих сонячних променів і опадів.

43. При виконанні електрозварювальних і газозварювальних робіт всередині ємностей або порожнин конструкцій робочі місця забезпечуються витяжною вентиляцією. Швидкість руху повітря всередині ємності (порожнини) повинна бути в межах 0,3-1,5 м / с.

44. При виконанні електрозварювальних робіт в приміщеннях підвищеної небезпеки, особливо небезпечних приміщеннях і при особливо несприятливих умовах електрозварники додатково забезпечуються діелектричними рукавичками, калошами і килимками.

45. При спуску в закриті ємності через люки слід переконатися, що кришки люків надійно закріплені у відкритому положенні.

46. Забороняється:

- 1) працювати у необгороджених або незакритих люків, отворів, колодязів;
- 2) без дозволу виконавця робіт знімати огородження і кришки люків, отворів, колодязів, навіть якщо вони заважають роботі.

47. Освітлення при виробництві електрозварювальних і газозварювальних робіт всередині металевих ємностей здійснюється з допомогою світильників, установлених зовні, або переносних ручних електричних світильників напругою не вище 12 В.

ВИСНОВКИ

Дипломний проект на тему «Розроблення системи електродинамічної обробки зварних з'єднань» присвячений вирішенню актуального завдання є підвищення міцності та довговічності зварних з'єднань при низьких витратах енергії за рахунок розробки електротехнічної системи для реалізації електродинамічної обробки для здійснення ударної дії, що дає змогу одночасно виконати як силовий вплив, так передати через контактний електрод імпульс струму в об'єкт обробки.

На базі проведеного аналізу літературних та інтернет джерел виявлено, що способи зниження залишкових напружень у зварних металевих конструкціях які застосовуються на даний момент володіють суттєвими недоліками а саме: значною необхідністю використання енерго- та металомісткого технологічного обладнання; суттєві обмеження під час обробки великогабаритних конструкцій та механізмів при значних витратах енергії. Вочевидь актуальним методом зростання ресурсу зварних з'єднань є метод електродинамічної обробки в основі застосування якого лежить ефект електропластичної деформації, перевагами якого є простота реалізації, скорочення часу обробки, можливість здійснення локальної дії, низькі витрати енергії.

Розроблена електротехнічна систему, конструктивно поділяється на джерело імпульсів струму та електромеханічний перетворювач індукційного типу ударної дії. Принцип дії джерела імпульсів струму засновано на основі ємнісного накопичувача, що виконаний в складі двох конденсаторів, що заряджаються від джерела постійної напруги яку можливо регулювати в межах 200–950 В. Розряд ємнісного накопичувача енергії здійснюється на коло, в яке входить стаціонарна індуктивності в 11 мкГн, яка розміщаються корпусі джерела та індуктивності, що розміщується в складі електродної системи (котушка індуктивності) розміщена на диску діаметром 97 мм який складається з мідного шару, що закріплений на диску з сталі товщиною в 5 мм. Крім того необхідно відмітити що в розрядне коло також входять опори

з'єднувальних провідників а також що не менш важливо контактний опір між електродом і зварним з'єднанням. Для розрахунків діаметр площі контакту електрода з зварним з'єднанням прийmemo рівним 2 мм, а електричний опір кола, в який входить електричний опір тиристора, 20,46 мОм. Процес комутації виконується за допомогою тиристора, який шунтовано зворотнім діодом, призначення якого полягає в функції запобігання перезаряду ємнісного накопичувача напругою зворотного знаку, також перетворення форми розрядного струму, яка властива для аперіодичного розряду конденсатора.

Оснoвуючись на розрахунках визначено силу струму (амплітудою до 7 кА) у перехідному процесі розряду ємнісного накопичувача енергії, шунтованого зворотнім діодом, на розрядне коло, електродинамічну силу тиску (амплітудою більше, ніж 22 кН) електроду на зварне з'єднання, а також розподіл густини струму в перерізі металу.

Визначено границі області металу у зварному з'єднанні, що відповідають умовам реалізації електропластичного ефекту, що дає змогу визначити геометричні параметри електромеханічного перетворювача індукційного типу, ударної дії, за яких створюються потрібні умови для зниження залишкових напружень у зварних з'єднаннях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Осадчук В.А. Діагностування залишкових технологічних напружень в елементах конструкцій розрахунково-експериментальним методом // Мат. методи та фіз.-мех. поля. – 2003. – 46, № 1. – С. 88–104.

2. Степанов Г.В., Бабуцкий А. Влияние локального осесимметричного нагрева трубы на уровень остаточных напряжений // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2004. – Т.9. - №4. – С.32-36.

3. Степанов Г.В., Бабуцкий А.И., Мамеев И.А. Нестационарное напряженно-деформированное состояние в длинном стержне, вызванное импульсом электрического тока высокой плотности // Пробл. прочности. – 2004. - №4. - С. 60-67

4. Буркин, С. П. Остаточные напряжения в металлопродукции: учебное пособие / С. П. Буркин, Г. В. Шимов, Е. А. Андрюкова. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 248 с

5. Прохоренко, В. М. Напруження та деформації у зварних з'єднаннях і конструкціях / В. М. Прохоренко, О. В. Прохоренко. – К. : НТУУ «КПІ», 2009. – 268 с.

6. Троицкий О.А. Ультразвуковое электропластическое плоское деформирование металла // Вестник научно-технического развития. – М., Россия: Институт машиноведения им. Благонравова А.А. РАН, 2009. - №10 (26). - С.42-43.

7. Баранов Ю. В. Физические основы электроимпульсной и электропластической обработок и новые материалы / Ю. В. Баранов, О. А. Троицкий, Ю. С. Авраамов, А. Д. Шляпин. – М. : МГТУ, 2001. – 844 с.

8. С. П. Буркин Остаточные напряжения в металлопродукции: учебное пособие / С. П. Буркин, Г.В. Шимов, Е.А. Андрюкова. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015. — 248 с.

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

10. Анализ способов определения и устранения остаточных напряжений в трубных заготовках / С.П. Буркин [и др.] // Достижения в теории и практике

трубного производства. Екатеринбург: УГТУУПИ, 2004. С. 87-97.

11. Биргер И. А. Расчет на прочность деталей машин : справочник / И. А. Биргер, Б. Ф. Шор, Г. Б. Иосилевич. М. : Машиностроение, 1993. 640 с

12. Болух В.Ф., Щукин И.С. Линейные индукционнодинамические преобразователи. Saarbrucken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2014. – 496 с.

13. Болух В.Ф., Олексенко С.В., Щукин И.С. Экспериментальные исследования влияния параметров ферромагнитного сердечника на электромеханические показатели линейного индукционно-динамического преобразователя // *Електротехніка і електромеханіка*. – 2014. – №5. – С. 13-

18.

14. Болух В.Ф., Данько В.П. Лінійні електромеханічні перетворювачі імпульсної дії. – Монографія. – Харків: НТУ «ХП». – 2006. – 260 с.

15. Афонин А.А., Гребеников В.В. Электродинамические системы повышенного быстродействия // *Техническая электродинамика*. – 1994. – № 5. – С. 23-29.

16. Жильцов А. В. Розрахунок параметрів контура для створення притискаючого зусилля в електротехнічному комплексі для зниження залишкових напружень / А. В. Жильцов, І. П. Кондратенко, В. В. Васюк // *Енергетика і автоматика*. – 2014. – №4. – С. 54-64. – Режим доступу : http://ibuv.gov.ua/UJRN/eia_2014_4_8.

17. Kondratenko I. P. Modeling of electromagnetic processes in electro-technical complexes for reducing residual stresses / I. P. Kondratenko, V. V. Vasyuk, A. V. Zhiltsov // *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. – 2014. – № 3/2014 (27). – С. 61-67

18. Нестационарні електрофізичні процеси в системах зниження залишкових напружень зварних з'єднань / [Л. М. Лобанов, І. П. Кондратенко, А. В. Жильцов, О. М. Карлов, М. О. Пашин, В. В. Васюк, В. Я. Яшук] // *Технічна електродинаміка*. – 2016. – № 6. – С. 10-19

19. Дослідження електрофізичних процесів у електродній системі неруйнівного визначення залишкових напружень / [Кондратенко І. П.,

Божко І. В., Жидьнов А. В., Васюк В. В.] // Цільова комплексна програма НАН України «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій споруд та машин». Збірник наукових статей за результатами, отриманими в 2010–2012 рр. Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, 2012. – С. 420–425.

20. Кашенко П. С. Електричне освітлення та опромінення / П. С. Кашенко – НМЦ, 2003. – 134 с.

21. Абрамова А. В. Основи светотехники: учеб. пособие / А. В. Абрамова. — [2-е изд.] — Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2000. — 108 с.

22. Левченко О. Г., Полукаров О. І. Охорона праці у зварювальному виробництві: Навчальний посібник. – К.: Основа, 2014. – 352 с.

23. Левченко О. Г. Гігієна праці та виробнича санітарія у зварювальному виробництві: Навчальний посібник. – К.: Основа, 2004. – 98 с/

24. Основи охорони праці / Купчик М. П., Гандзюк М. П., Степанець І. Ф. та ін. – К.: Основа, 2000. – 416 с.

25. Основи охорони праці / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний та ін. // За ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. – К.: Основа, 2006. – 448 с