

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Інститут матеріалознавства та зварювання ім. Є. О. Патона
Кафедра зварювального виробництва**

До захисту допущено

Завідувач кафедри

_____ Віктор КВАСНИЦЬКИЙ

«___» _____ 2023 р.

ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ

на здобуття ступеня бакалавра

за програмою «Технологічні системи інженерії з'єднань і поверхонь»

спеціальності 131 «Прикладна механіка»

**на тему: Дослідження стійкості електродів для контактного точкового
зварювання змінним струмом**

Виконав: студент IV курсу, групи ЗС-91

Павленко Олексій Вячеславович

(підпис)

Керівник:

доцент, к.т.н. Скачков Ігор Олегович

(підпис)

Консультант з економічної частини:

доцент, Глущенко Я. І.

(підпис)

Консультант з охорони праці

Зав. каф., д.т.н., професор

Левченко Олег Григорович

(підпис)

Рецензент:

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ – 2023 рік

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інститут матеріалознавства та зварювання ім. Є. О. Патона
Кафедра зварювального виробництва

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма – «Технологічні системи інженерії з'єднань і поверхонь»

Затверджую

Завідувач кафедри

_____ Віктор КВАСНИЦЬКИЙ

«__» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Павленко Олексію Вячеславовичу

1. Тема проєкту **«Дослідження стійкості електродів для контактного точкового зварювання змінним струмом»**,

керівник проєкту Скачков Ігор Олегович, доцент, затверджені наказом по університету від «1» червня 2023 р. № 2122-с.

2. Термін подання студентом проєкту 5 червня 2021 р.

3. Вихідні дані до проєкту: Контактне точкове зварювання низьковуглецевої сталі. Електроди з порошкових матеріалів.

4. Зміст пояснювальної записки

Особливості контактного точкового зварювання, що впливають на стійкість електродів. Сучасні способи поліпшення зносостійкості електродів. Технологія виготовлення електродів. Методика проведення експериментів та експериментальне обладнання. Аналіз експериментальних даних. Пропозиції по вдосконаленню технології виготовлення електродів для контактного точкового зварювання.

5. Перелік графічного матеріалу:

1. Спосіб контактного точкового зварювання, вимоги до електродів (1 А1).
2. Методика дослідження стійкості електродів і експериментальна установка (1 А1).
3. Машина контактного точкового зварювання. Вид загальний (1 А1).
4. Схема електрична принципова експериментальної установки (1 А1).
5. Результати досліджень (2 А1).

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічна частина	Глущенко Я.І., доц.		
Охорона праці	Левченко О. Г., зав. каф.		

7. Дата видачі завдання 20 квітня 2023 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Прим.
1	Аналіз літератури за темою проекту	до 30 квітня	
2	Детальна розробка і обґрунтування проєктних рішень технологічної частини проєкту	до 15 травня	
3	Розробка економічної частини проєкту	до 20 травня	
4	Розробка інженерних рішень з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	до 20 травня	
5	Оформлення графічного матеріалу	до 25 травня	
6	Оформлення пояснювальної записки і підготовка доповіді на захист	до 5 червня	

Студент

(підпис)

Олексій ПАВЛЕНКО

Керівник

(підпис)

Ігор СКАЧКОВ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ДП – дипломний проект;

ТУ – технічні умови;

РП – робоча поверхня;

σ_B – межа короткочасної міцності;

σ_T – межа тривалої текучості;

δ_5 – відносне подовження після розриву;

ψ – відносне звуження (стискання);

КСУ – ударна в'язкість визначена на зразку з концентраторами відповідного виду U;

E – модуль пружності нормальний;

α – коефіцієнт температурного розширення;

λ – коефіцієнт теплопровідності;

R – питомий електроопір;

НВ – твердість за Брюнеллем;

ЧПК – числове програмне керування;

$I_{зв}$ – зварювальний струм;

$t_{зв}$ – час зварювання;

$F_{зв}$ – зусилля стискання між електродів;

F_K – ковальське зусилля;

t_K – час ковальського зусилля

АНОТАЦІЯ

В даному дипломному проекті досліджується стійкість електродів для контактного точкового зварювання виготовлених з запропонованого матеріалу (порошкової міді з вмістом сажі). Представлені фактори та особливості технологічного процесу контактного зварювання, що впливають на стійкість електродів. Виконані розрахунки параметрів режиму зварювання. Представлений ретельний аналіз обраного обладнання для реалізації технологічного процесу.

Дослідження виконується дослідним шляхом, а саме зварюванням електродами з запропонованого матеріалу, з паралельним вимірюванням розмірів робочої поверхні електродів і параметрів напруги й струму на електродах.

Проведений техніко-економічний аналіз, розроблений комплекс інженерних заходів з питань охорони праці з урахуванням специфіки даного дипломного проекту.

Результатом даної дипломної роботи стало з'ясування того, що порошкові матеріали не відповідають необхідним вимогам для використання їх у якості виготовлення електродів для контактного точкового зварювання.

Ключові слова: *зносостійкість, електроди контактного точкового зварювання, робоча поверхня, контактне зварювання.*

ANNOTATION

In a diploma project investigates the stability of electrodes for contact spot welding made of the proposed material (copper powder with carbon black content). Factors and features of the technological process of contact welding affecting the stability of electrodes are presented. Calculations of the parameters of the welding mode have been performed. A thorough analysis of the selected equipment for the implementation of the technological process is presented.

The research is carried out experimentally, namely by welding with electrodes from the proposed material, with parallel measurement of the dimensions of the working surface of the electrodes and the voltage and current parameters on the electrodes.

A technical and economic analysis was carried out, a set of engineering measures on labor protection issues was developed, taking into account the specifics of this diploma project.

The result of this thesis was the finding that powder materials do not meet the necessary requirements for their use as electrodes for contact spot welding.

Key words: *wear resistance, contact spot welding electrodes, working surface, contact welding.*

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1. ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ КОНТАКТНОГО ТОЧКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ	10
1.1. Загальні відомості про контактне зварювання.....	10
1.2. Джерела теплоти при зварюванні.....	14
1.3. Контактні опори	15
1.4. Власні опори деталей.....	17
1.5. Загальний опір ділянки електрод-електрод.....	18
1.6. Тепловий баланс при зварюванні	19
1.7. Основні дефекти.....	19
1.7.1. Непровари	19
1.7.2. Вибризування	20
1.7.3. Несуцільності зони зварювання	21
1.7.4. Зниження корозійної стійкості з'єднання	22
1.7.5. Несприятливі зміни структури металу зварного з'єднання	23
1.8. Висновки до першого розділу.....	23
2. ЕЛЕКТРОДИ КОНТАКТНОГО ТОЧКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ	25
2.1. Умови роботи електродів	25
2.2. Конструкція електродів	27
2.3. Матеріали для електродів.....	29
2.4. Стійкість електродів	32
2.5. Способи підвищення зносостійкості електродів	35
2.6. Висновки до розділу два.....	37
3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	39
3.1. Опис обладнання	39
3.2. Електроди.....	42
3.3. Аналіз матеріалу деталей	46

					ДП ЗС91.07.00.000ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Павленко О.				Дослідження стійкості електродів для контактного точкового зварювання змінним струмом Дипломний проект		Лім.	Лист
Перевірів	Скачков І.							Листів
								7
								86
Н. Контр.	Лисак В.				КПІ ім. І. Сікорського НН ІМЗ ім. Є.О. Патона			
Затв.	Квасницький В.							

3.4. Розрахунок параметрів зварювання	47
3.5. Підготовка поверхонь деталей.....	51
3.6. Процес зварювання	52
3.7. Висновок до розділу 3	53
4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	54
4.1. Зміна діаметру робочої поверхні електродів.....	54
4.2. Аналіз осцилограм зварного процесу	55
4.3. Порівняння дослідних електродів і електродів БрХ	60
4.4. Висновок до розділу 4	62
5. ВИСНОВОК.....	64
6. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	65
6.1. Витрати на матеріали.....	65
6.2. Витрати на оплату праці.....	66
6.3. Витрати на електроенергію	67
6.4. Витрати на амортизацію	67
6.5. Висновок до розділу 6	68
7. ОХОРОНА ПРАЦІ	70
7.1. Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів (ШНВФ).....	70
7.2. Нормативні вимоги безпеки та гігієни праці	71
7.2.1. Рівень шуму	72
7.2.2. Підвищена напруга в електричному колі	73
7.2.3. Електромагнітні випромінювання.....	74
7.3. Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці	76
7.4. Пожежна безпека.....	77
7.5. Висновки до розділу 7	78
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	79
Додаток А	83
Додаток Б.....	83
Додаток В	85
Додаток Г.....	86

ВСТУП

Контактне точкове зварювання є поширеним методом зварювання в багатьох галузях промисловості (автобудування, авіабудування, кораблебудування, електроніка та інші). Завдяки своїм перевагам контактне точкове зварювання має високий рівень актуальності, так як значення продуктивності є одним з найвищих в порівнянні з іншими методами зварювання.

Метою даного дипломного проекту є дослідження зносостійкості електродів для контактного точкового зварювання, котрі виготовлені з запропонованого матеріалу (порошкової міді з вмістом сажі). Для досягнення цієї мети використовується експериментальний метод дослідження, коли виготовленими електродами з наданого експериментального матеріалу виготовляють зварні точки на машині МТ-1215. Деталі для зварювання виступають стрічки (шириною 20 мм і товщиною 0,8 мм) з матеріалу Ст3. При цьому під час процесу зварювання вимірюються величини робочої поверхні електродів, струм та напруга на електродах.

Використавши отримані експериментальні дані виконується аналіз щодо зносостійкості експериментального матеріалу і робиться висновок щодо доцільності його використання у якості матеріалу для виготовлення електродів для контактного точкового зварювання.

Також приводиться техніко-економічний аналіз, розроблений комплекс інженерних питань з охорони праці враховуючи принципи даного дипломного проекту.

1. ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ КОНТАКТНОГО ТОЧКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

1.1. Загальні відомості про контактне зварювання

Контактне точкове зварювання – це метод з'єднання металевих деталей, під час якого деталі з'єднуються в окремих локальних ділянках доторку (точках). При точковому зварюванні (рис. 1.1) деталі 1 в напускному з'єднанні стискаються зусиллям $F_{зв}$ електродами 2, до котрих під'єднане джерело електричного струму 3 (наприклад, зварювальний трансформатор, випрямляч, інвертор і т.д.). При короткочасному проходженні зварювального струму $I_{зв}$ через ділянку електрод-електрод (рис. 1.2, а) деталі нагріваються до утворення зони 4. Це зона взаємного розплавлення деталей, що називається ядром. Завдяки зусиллю стискання електродів виникає пластична деформація металу в зоні контакту деталей (навколо ядра), що в результаті утворює ущільнюючий поясок. Поясок допомагає уникнути вибризування рідкого металу з ядра та захищає зону зварювання від взаємодії з навколишнім середовищем, тому спеціальний захист не використовується. Після вимкнення джерела струму проходять процеси охолодження і кристалізації, і як наслідок утворюються металічні зв'язки між деталями (рис. 1.2, б).

Нагрівання при точковому зварюванні виконують імпульсним змінним струмом частотою 50 Гц (в деяких випадках при більших частотах), а також імпульсами постійного струму або уніполярного струму.

					ДП ЗС91.07.00.000ПЗ	Лист
						10
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат		

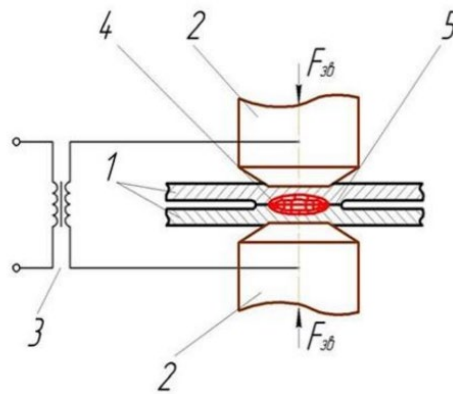


Рис. 1.1 – Схема точкового зварювання. [37]

За методом підведення струму до деталей розрізняють одностороннє і двостороннє зварювання. Найчастіше за цикл зварювання виготовляють одну зварну точку, але іноді – дві або більше зварних точок.

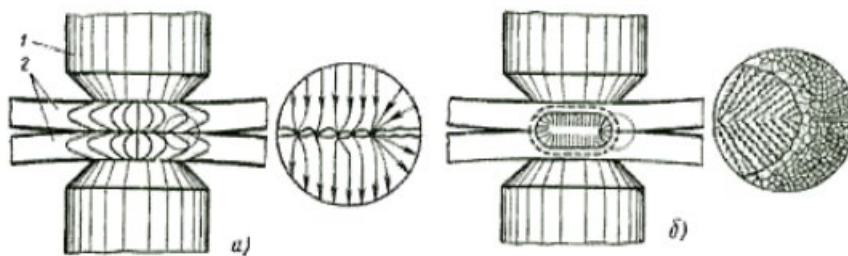


Рис. 1.2 – Схема процесу точкового зварювання. [29]

а – нагрівання металу струмом, що протікає через ділянку електрод-електрод;

б – кристалізація металу ядра після вимкнення імпульсу зварювального струму

Малий час виготовлення зварної точки (десяті і соті частки секунди) та великі значення зварювального струму (десятки тисяч кілоампер) є основними ознаками контактного зварювання. Загальна схема утворення з'єднання при точковому зварюванні (рис. 1.3) складається в основному з трьох етапів [37, 29]:

1. Прикладається зусилля стиснення, котре призводить до пружно-пластичної деформації мікронерівностей в контактах деталей-деталь та електрод-деталь, внаслідок чого утворюється початковий контакт. Вмикається зварювальний струм і метал, що нагрівається, зменшує опір пластичної деформації, що сприяє вирівнюванню мікрорельєфу, руйнуванню поверхневих плівок і

формуванню електричного контакту. Деформація нагрітого металу відбувається в основному в зазорі між деталями, тому утворюється ущільнюючий пояс.

2. Другий етап починається з моменту розплавлення металу. Протягом даного етапу формується ядро. Поки протікає струм, ядро збільшується до максимальних розмірів за висотою та діаметром. Під час цього відбуваються процеси перемішування металу, видалення поверхневих плівок до периферії і утворення металічних зв'язків у рідкій фазі. Процеси пластичної деформації продовжуються. Під час нагріву зони зварювання відбувається теплове розширення металу.
3. Як тільки зварювальний струм вимикається, починається третій етап. Починаються процеси кристалізації та охолодження металу ядра, внаслідок чого формується спільне для з'єднувальних деталей лите ядро. Під час охолодження в результаті зменшення об'єму металу в зоні зварювання виникають залишкові напруження. Щоб знизити рівень цих залишкових напружень необхідно прикласти додаткові зусилля стиснення електродів (але не завжди). Це допоможе уникнути утворень усадкових тріщин та раковин. Після чого зусилля стиснення електродів знімаються й через певний час, що отримати наступне зварне з'єднання, цикл повторюється.

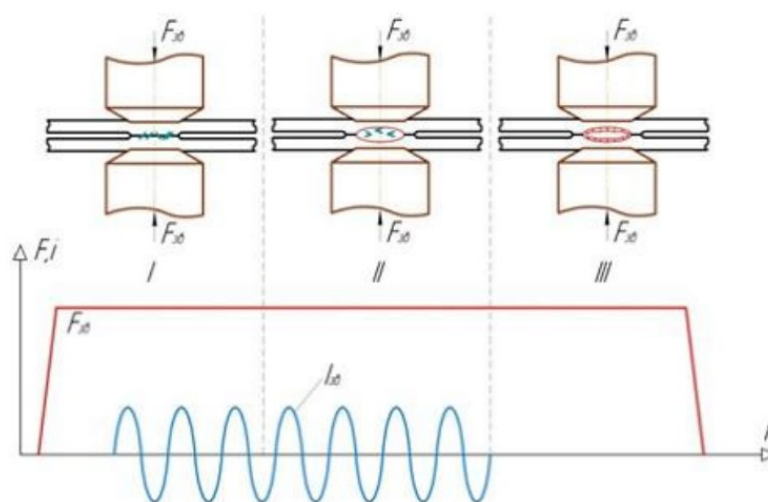


Рис. 1.3 – Формування з'єднань при точковому зварюванні [37]

Відповідно до літератури Чулариса А. А., Рогозин Д. В. [44], де вказано, що контактне зварювання є одним з провідних методів отримання нероз'ємних з'єднань деталей у різноманітних галузях промисловості, що обумовлюється конкретними перевагами даного методу зварювання:

1. Широкими можливостями автоматизації зварювальних робіт. Серед механізованих і автоматизованих методів зварювання контактне зварювання займає перше місце;
2. Висока й стабільна якість зварювання, що майже не залежить від кваліфікації оператора-зварювальника;
3. Відсутність потреби в технологічних матеріалах (захисні гази, присадкові дроти, флюси, та інше);
4. Широкий спектр матеріалів, що зварюються. Контактне зварювання дозволяє успішно з'єднувати майже всі відомі конструкційні матеріали, а саме: низьковуглецеві й леговані сталі, жаростійкі й корозійностійкі сплави, сплави на основі титану, магнію, алюмінію та інші;
5. Зварювальне з'єднання утворюється при мінімальних вимушених деформаціях (в межах 10%).

Точкове зварювання вважається найбільш поширеним методом контактного зварювання (близько 80 % з'єднань). Точкове зварювання незамінне в автомобільній та вагонобудівній галузях, радіоелектронному виробництві. В сучасних літальних апаратах нараховується мільйони зварних точок. Товщини зварюваних деталей коливаються від кількох десятків мікрон до 10 мм.

Найбільш масово контактне зварювання використовується в умовах масового виробництва автомобілів, пасажирських вагонів, приладів електроніки, при прокладенні магістральних трубопроводів і залізничних шляхів (мається на увазі не лише точкове зварювання, а в цілому контактне зварювання). В промисловості частка зварювання що припадає на контактний метод сягає 90 % від усіх з'єднань.

Зараз в контактному зварюванні актуальними питаннями (проблемами) є [1]:

					ДП ЗС91.07.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат		13

1. Оптимізація режимів зварювання;
2. Розробка методів, технологій та обладнання для зварювання деталей більших товщини, легких сплавів та композитів.
3. Збільшення стійкості електродів та часу їх використання;
4. Розробка надійних методів неруйнівного контролю.

Таким чином, контактне зварювання є широко поширеним методом виготовлення нероз'ємних з'єднань в промисловості, тому дослідження стійкості електродів, котрі вважаються змінним матеріалом, є доцільним питанням.

1.2. Джерела теплоти при зварюванні

З літературних джерел [36, 15, 37] впливає загальна інформація щодо джерел теплоти.

Процеси нагріву і розплавлення металу проходять завдяки тому, що електричний струм проходить через електричні опори внаслідок чого виділяється тепло. За допомогою формули Джоуля-Ленца (1.1) розраховується повна кількість теплоти, що виділяється між електродами на період зварювання:

$$Q_{ee} = \int_0^{t_{зв}} i_{зв}^2(t) * r_{ee}(t) dt \quad (1.1)$$

В формулі (1.1) $i_{зв}(t)$ – миттєве значення зварювального струму, А; $r_{ee}(t)$ – загальний опір між електродами, Ом.

Загальний опір між електродами (рис. 1.4) складається в сумі з п'ятих опорів (1.2): двох власних опорів деталей r_d , двох опорів на ділянці електрод-деталь $r_{ед}$, одного опору на ділянці деталь-деталь $r_{дд}$

$$r_{ee} = 2r_d + 2r_{ед} + r_{дд} \quad (1.2)$$

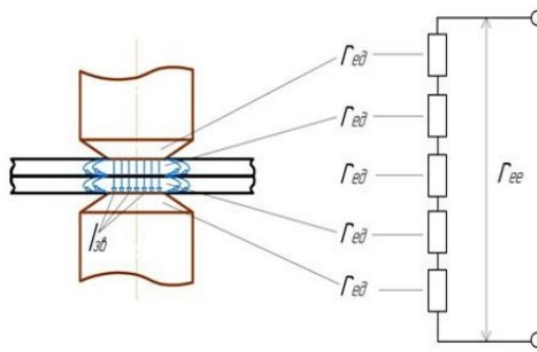


Рис. 1.4 – Опори при контактному зварюванні [37]

Отже, звернувши увагу на формулу Джоуля-Ленца, можна сказати, що на кількість теплоти при контактному зварюванні впливає значення зварювального струму, загального опору та часу зварювання. Значення цих параметрів може впливати на стійкість електродів.

1.3. Контактні опори

Опори, що знаходяться на межах двох струмопровідних деталей є контактними опорами. У випадку контактного точкового зварювання є контактні опори в зонах (ділянках) деталь-деталь і електрод-деталь.

Так як зона електричного контакту обмежена діаметром робочої поверхні електрода і зварні деталі та самі електроди мають певний рівень нерівностей поверхні (мікрорельєф), а також через наявність неелектропровідних елементів на поверхнях таких як: оксидні і гідрооксидні плівки, адсорбована волога, мастила, продукти корозії, пил та інше. Внаслідок чого й виникають електричні опори (рис. 1.5)

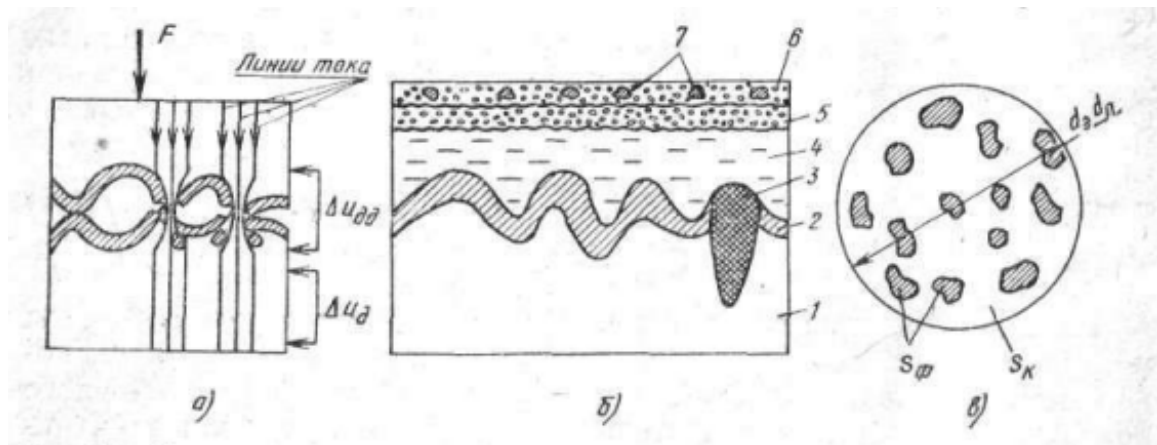


Рис. 1.5 – Виникнення контактних опорів [36]

а – розподіл струму в зоні контакту холодних деталей;

б – будова реальної поверхні тіл: 1 – метал; 2 – оксидні й гідроксидні плівки; 3 – продукти корозії; 4 – адсорбована волога; 5 – мастило; 6 – адсорбовані гази; 7 – пил; в – розподіл мікроконтактів

Отже, звернувши увагу на (рис. 1.5, в) можна помітити, що реальна площа контакту S_{ϕ} до нагріву деталей є меншою ніж контурна площа контакту S_k , котра визначається діаметром робочої поверхні електрода. Вплив стану поверхні деталей на контактний опір доволі великий.

Коли починається процес зварювання (другий етап), тобто вмикається зварювальний струм, мікроконтакти нагріваються і опір пластичної деформації матеріалу деталей знижується. При певних критичних температурах $T_{кр}$, характерного до металу зварювання, контактний опір r_{ee} значно зменшується ($r_{дд}$ майже до нуля, а $r_{ед}$ до малих величин). Значення $T_{кр}$ для сталей складає $600 - 700\text{ }^{\circ}\text{C}$, алюмінієві сплави $400 - 450\text{ }^{\circ}\text{C}$ і досягаються при звичайному циклі зварювання за час $0,1 - 0,2t_{зв}$.

Експериментально було доведено, що частка тепла, котра виділяється в зоні деталь-деталь, не перевищує 5 % загальної теплоти.

Таким чином маємо, що контактні опори відіграють роль в процесі виділення тепла, але лише на початку процесу зварювання і протягом короткого

проміжку часу. При дослідженні електродів на стійкість цей фактор впливу контактних опорів також враховується.

1.4. Власні опори деталей

Власний опір деталей вважається опором, що розподіляється в об'ємі металу, котрий зварюється. Основна частка тепла виділяється завдяки цьому опору.

Даний опір представляють як суму опорів двох пластин однакової товщини, котрі нагріті до певної середньої температури T_1 і T_2 (рис. 1.6)

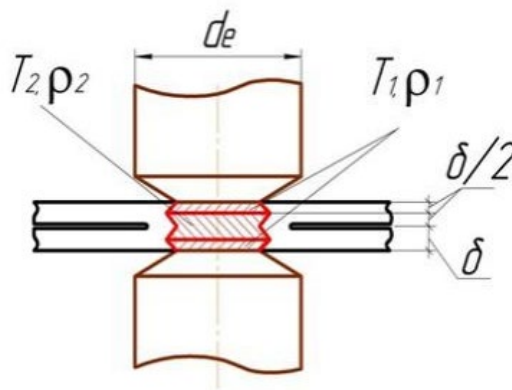


Рис. 1.6 – Власний опір деталей в кінці процесу нагрівання [37]

Отже, розрахунок власного опору деталей в кінці процесу нагрівання виконують за допомогою формули (1.3):

$$2r_d = \frac{A * k_p * \delta * (\rho_1 + \rho_2) * 4}{\pi * d_e^2} \quad (1.3)$$

В формулі (1.3) δ – товщина деталі, d_e – діаметр робочої поверхні електрода; ρ_1 і ρ_2 – питомі електричні опори матеріалу деталей при температурах T_1 і T_2 ; k_p – коефіцієнт, котрий враховує нерівномірність нагріву деталей; A – коефіцієнт, котрий враховує ступінь розтікання струму в деталях.

Отже, власний опір деталей є основним для того, щоб отримати необхідну кількість тепла при утворенні зварного з'єднання. Він залежить від фізичних властивостей металу, товщини деталей та розмірів РП електродів.

1.5. Загальний опір ділянки електрод-електрод

При включенні зварювального струму загальний опір суттєво змінюється, що зображено на (рис. 1.7).

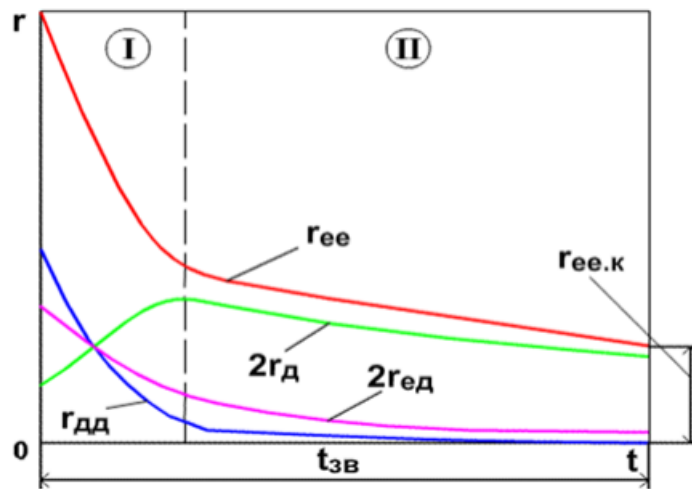


Рис. 1.7 – Кінетика зміни електричних опорів при точковому зварюванні [37]

Як помітно, перший етап (I) (період) вказує на різкий спад значення контактного опору r_{ee} через зменшення значень $2r_{dd}$ і $2r_{ed}$, хоча в той же час власний опір деталі збільшується. Під час другого періоду (II) r_{ee} контактний опір майже повністю визначається значенням власного опору деталей $2r_d$ (так як опір ділянки деталей-деталей дорівнює нулю, а ділянки деталей-електрод має незначне значення). Одночасне зменшення r_{ee} пояснюється збільшенням площі електричних контактів.

Зміна r_{ee} залежить від наступних факторів:

- Від властивостей металу;
- Товщини деталей;
- Режимів зварювання;
- Форми імпульсу струму;
- Розмірів ядра;
- Форми робочої поверхні електродів

Так як загальний опір впливає на кількість теплоти необхідної для формування зварного з'єднання то він звичайно й впливає на електроди.

1.6. Тепловий баланс при зварюванні

Основна частка теплоти при точковому зварюванні генерується за рахунок дії об'ємно розподіленого джерела.

Енергія, що виділяється на ділянці електрод-електрод Q_{ee} , витрачається на нагрів і плавлення металу ядра $Q_1 \approx (20 - 30\%)Q_{ee}$. Інша частина через властивість теплопровідності передається в метал Q_2 , що оточує зварну точку, і в електроди $Q_3 \approx (50\%)Q_{ee}$.

Отже, рівняння теплового балансу має такий вигляд (1.4):

$$Q_{ee} = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (1.4)$$

Таким чином отримуємо, що майже половина теплоти йде на нагрівання електродів, що може призводити до руйнації самих електродів. Так як процеси протікають стрімко: швидко нагріваються й швидко охолоджуються.

1.7. Основні дефекти

Непровари, вибрикування, несучільність зони зварювання, зниження корозійної стійкості з'єднання, несприятливі зміни структури металу є основними дефектами при контактному зварюванні.

1.7.1. Непровари

Непровар – дефект, який важко виявити і який є дуже небезпечним. Цей дефект вказує, що зона взаємного розплавлення металу є меншою ніж вимагається за умовами. Проявляється в різних видах: від повного не провару і до зменшеного значення литого ядра (рис. 1.8).

					ДП ЗС91.07.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат		19

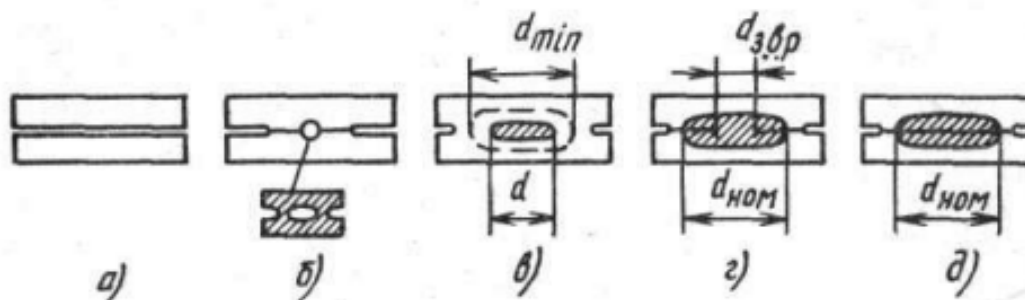


Рис. 1.8 – Види непроварів [36]

а – повна відсутність з'єднання; б – утворення зв'язків за окремими мікрорельєфами; в – малий розмір ядра; г – недостатня зона взаємного розплавлення; д – відсутність зони взаємного розплавлення

Причинами утворення даного дефекту є зміна параметрів режиму зварювання, таких як: зменшення значень зварювального струму і малий час зварювання, збільшення значень стиску електродів і діаметрів робочої поверхні електродів. Також неправильно підібрані технологічні параметри такі як напуски, крок між точками і зазори можуть вплинути на утворення непровару. Чистота поверхні деталей також впливає на зону взаємного розплавлення зварного металу.

Щоб уникнути утворення непроварів виконують наступні дії: забезпечують стабільність і відповідність параметрів зварювання до зварювального обладнання, виконують підготовку поверхні зварювання.

1.7.2. Вибризування

Вибризування – явище, що характеризується викидом частки розплавленого металу з зони зварювання. Вибризування бувають (рис. 1.9):

- Зовнішні (електрод-деталь);
- Внутрішні (деталь-деталь);
- Початкові;
- Кінцеві.

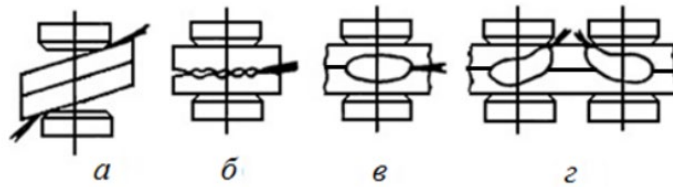


Рис. 1.9 – Види вибризування [29]

а – зовнішній; б – початковий внутрішній; в – кінцевий внутрішній; г – кінцевий зовнішній

Зовнішні вибризування погіршують зовнішній вигляд продукції і знижують стійкість електродів. Внутрішні вибризування часто стають перешкодою для подальшого росту ядра внаслідок підвищеного рівня розтікання струму і охолодження металу. Кінцеві вибризування можуть бути причинами виникнення тріщин, раковин і глибоких вм'ятин.

Загальною причиною виникнення вибризування є відставання швидкості деформації від швидкості нагріву металу. До причин вибризування також відносять: недостатню силу стиску електродів, неправильне розташування електродів (перекос), використання жорстких режимів зварювання при недостатніх значеннях стиску електродів.

Уникнути вибризування можна за допомогою використання м'яких режимів зварювання, попереднього підігріву, збільшення зусилля стискання електродів.

1.7.3. Несуцільності зони зварювання

Несуцільності в металі зварного шва утворюються найчастіше на стадії охолодження. Це часто поширений дефект при зварюванні деталей товщиною більше за 1 мм з сплавів з широким інтервалом кристалізації (рис. 1.10).

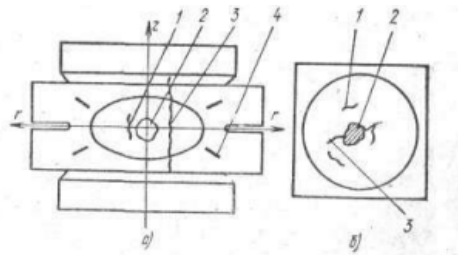


Рис. 1.10 – Несуцільності в зоні зварювання [44]

а – розміщення дефектів; б – схема рентгенограми зварної точки; 1 – внутрішні тріщини, 2 – раковина; 3 – зовнішні тріщини; 4 – “вуса”

Для того, щоб уникнути несучільностей необхідно виконати кувальне зусилля $F_{\text{ков}}$ на кінцевій стадії формування точки. При виконанні кувального зусилля необхідно також звернути увагу на фізичні й механічні властивості металу деталей, їх товщину, режим зварювання та форму зварювального імпульсу.

1.7.4. Зниження корозійної стійкості з'єднання

Під час зварювання також відбуваються процеси масопереносу. Дрібні частки металу електродів переносяться на поверхню деталей, що зварюються, і навпаки. І як наслідок може виникати підсилена корозійна чутливість металу. Так відбувається наприклад при контакті мідних електродів з алюмінієвими і магнієвими сплавами.

Швидкість масопереносу з постановкою певного діапазону зварних точок збільшується, бо на поверхню електродів також переходить зварювальний метал, що викликає зниження характеристик теплопровідності і електропровідності електродів. Це може вплинути на об'єм розплавленого металу, що часто супроводжується утворенням тріщин і вибризувань.

Для зниження ймовірності зміни корозійної стійкості деталей використовують наступні методи для гальмування процесів масопереносу. До таких прийомів (методів) можна віднести наступне:

- Ретельна підготовка поверхонь деталей до зварювання. Бажано хімічним способом;

- Використання жорстких режимів, що зменшить час перебування металу при великих температурах;
- Використання попереднього обтиснення деталей перед зварюванням;
- Нанесення на поверхню деталей бар'єрних речовин (мінеральних мастил), що упереджує масоперенос;
- Інтенсивне охолодження електродів;
- Видалення продуктів масопереносу з поверхні з'єднань після зварювання.

1.7.5. Несприятливі зміни структури металу зварного з'єднання

Термічні й деформаційні цикли зварювання в залежності від властивостей конкретного металу можуть вплинути на виникнення несприятливих структур у шві і в навколошовній зоні зварного з'єднання. Однак роль цих змін невелика. Але незважаючи на це несприятливі зміни структури і властивостей з'єднань попереджають вибором оптимальних параметрів режиму зварювання на основі аналізу конкретного металу і умов зварювання.

Отже, можливі дефекти при контактному точковому зварюванні впливають на стійкість електродів, але й параметри й властивості електродів можуть впливати на виникнення дефектів (наприклад, при невдалому виборі електродів будуть відбуватись процеси масопереносу).

1.8. Висновки до першого розділу

Отже, виходячи з вище описаного матеріалу щодо особливостей процесу контактного точкового зварювання, можна зробити висновок, що електроди для контактного точкового зварювання впливають на якість зварних з'єднань (точок). Це впливає в свою чергу на джерела теплоти, а точніше на кількість виділеної теплоти для зварювання, і на виникнення недопустимих дефектів, таких як непровари, вибризування, несучільності зварних з'єднань, корозійної нестійкості з'єднань та інших. Щоб зменшити фактори впливу електродів на якість зварних з'єднань, вони повинні мати високі значення зносостійкості. Це допоможе знизити вплив на зміну форми та розмірів РП електродів, а також зменшить

					ДП ЗС91.07.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат		23

значення масопереносу електродного металу на зварні деталі. А отже при збільшенні стійкості електродів збільшуються їхні експлуатаційні можливості.

2. ЕЛЕКТРОДИ КОНТАКТНОГО ТОЧКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

В даному розділі описуються електроди для контактного точкового зварювання. Вказуються цілі для чого ці електроди існують, з яких матеріалів вони виготовляються, які бувають види та як вони впливають на формування зварного з'єднання (зварної точки), як вони зношуються і якими методами можна поліпшити зносостійкість електродів. Відповідна інформація впливає з джерел [41, 37, 36, 15, 30, 45].

2.1. Умови роботи електродів

Електроди для контактного зварювання – це інструмент, що виконує функцію контакту машини зі зварювальними деталями. Вони стискають деталі, підводять струм, відводять тепло, що виділяється в деталях при зварюванні.

При точковому зварюванні електроди нагріваються до високих температур за рахунок тепла, що виділяється під час проходження струму, а також за рахунок передачі тепла від зварювальних деталей.

В ділянці електрод-деталь на робочій поверхні електродів температура може підійматись до 750 °C при точковому зварюванні сталей і до 400 °C при зварюванні легких сплавів, а тиск може складати 400 МПа (при зварюванні жаростійких і проковці легких сплавів) [41].

Циклічний характер дії температур і тиску на електроди є їхньою особливістю. При зварюванні на жорстких режимах у темпі (25-30 точок/хв) електроди зазвичай встигають охолоджуватись, але якщо режим м'який і темп зварювання вище (100-150 точок/хв) то електроди охолоджують лише частково. І як наслідок виникають додаткові термічні напруження.

Напруження також можуть виникати через зусилля стискання, що прикладається до електродів, якщо вони перевищують межу текучості металу електрода. Також електроди можуть бути під дією напружень згину, якщо використовують фігурні електроди, неправильно установлені і зсунуті електроди або внаслідок деформації елементів механічного контуру зварювальної машини.

					ДП ЗС91.07.00.000ПЗ	Лист
						25
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат		

При використанні жорстких режимів зварювання, коли максимальні температури не перевищують $0,4T_{\text{пл}}$ ($T_{\text{пл}}$ – температура плавлення метала електрода) на деяких ділянках робочої поверхні електродів спочатку спостерігаються сліди ковзання, а потім за умови продовження зварювання – утворюються тріщини. В той час як при зварюванні на м'яких режимах і більш високих темпах зварювання максимальна температура доходить до $0,7T_{\text{пл}}$ після приблизно виконання 2-3 тисяч точок. Виникають тріщини між зернами металу, і при продовженні даного режиму зварювання тріщини стрімко розвиваються й заглиблюються (рис. 2.11).

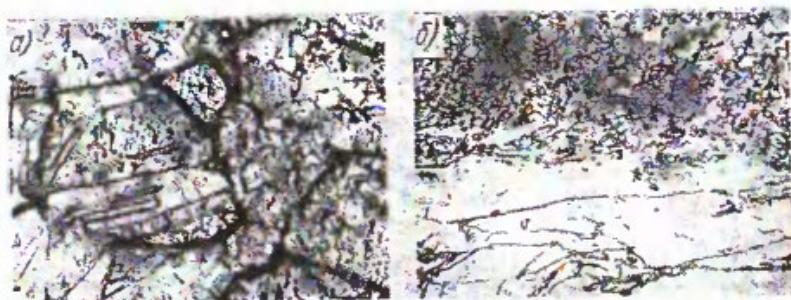


Рис. 2.11 – Структура металу робочої частини електрода після експлуатації [41]
а – бронза Бр.НБТ; б – бронза Бр.Х

Отже можна сказати, що чим менший рівень теплопровідності матеріалу електрода тим будуть більші перепади температур і нерівномірний розподіл напружень по перерізу електродів і тим більш ймовірно утворення тріщин на цій поверхні.

До основних вимог для електродів належати висока міцність при підвищених температурах. Через електроди протікають струми великого значення, наприклад при зварюванні алюмінію значення зварювального струму може досягати $250 - 300 \text{ а/мм}^2$, тому матеріал повинен мати гарні показники в властивостях електропровідності. Вибір електрода для зварювання, а відповідно і його властивостей, залежить від матеріалу деталей. Наприклад при зварюванні жаростійких сталей та сплавів, електроди повинні мати підвищені характеристики жаростійкості; при зварюванні легких сплавів перевага надається властивостям

електропровідності і низькій здатності переносу металу; при зварюванні низьковуглецевих і вуглецевих сталей – успішне поєднання всіх властивостей. Основні вимоги до властивостей сплавів електродів приводяться відповідно в ГОСТ 14111-69 [9]. Але на практиці вимоги до матеріалів електродів не завжди дозволяють вибрати найкращий варіант.

Стійкість електродів для точкового зварювання оцінюють найчастіше за числом точок до збільшення робочої поверхні на 20% від початкового. А при зварюванні легких сплавів по кількості виконаних точок до заточки електрода.

Таким чином електроди для контактного точкового зварювання експлуатуються у важких умовах при яких на них діють: високі температури, зусилля стиску, жорсткі та м'які режими зварювання, високий темп виробництва. Щоб їхня стійкість й експлуатаційні характеристики були високими, вони повинні характеризуватись гарними властивостями: електропровідності, теплопровідності, твердості, а також високою температурою рекристалізації.

2.2. Конструкція електродів

Електроди для контактного точкового зварювання складаються з трьох частин: 1 – робоча, 2 – середня, 3 – посадочна (рис. 2.12).

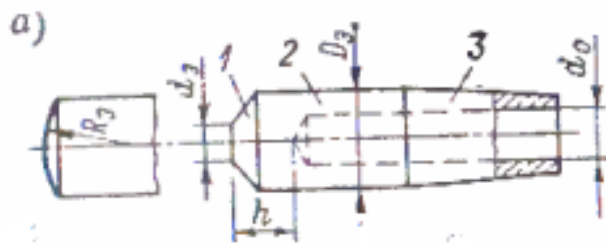


Рис. 2.12 – Конструкція прямого електрода [41]

Робоча частина електрода забезпечує безпосередній контакт (електричний і механічний) з деталями і має робочу поверхню. Форма і розміри робочої поверхні є важливими технологічними характеристиками електрода. Найбільш поширені форми робочої поверхні: плоска і сферична як на (рис. 2.2) також існують циліндричні. Плоска поверхня визначається діаметром d_e , сферична радіусом R_e .

Кут конічної частини $\alpha = 30^\circ$. Збільшення кута може вплинути на стійкість електрода через інтенсивне зминання робочої поверхні.

Діаметр і радіус робочої частини визначають за формулами (2.5), де товщина зварювальної деталі відіграє вирішальну роль:

$$d_e = 2 * (\delta + 2) \qquad R_e = 25 * (2\delta + 1) \qquad (2.5)$$

Середня частина електрода з'єднує робочу і посадочну частини і визначається діаметром D_e за ГОСТ 14111-90 [10]. Розмір D_e вибирають з ряду: 10, 12, 16, 20, 25, 32 і 40 мм.

Середня частина зазвичай використовується для закріплення відповідних інструментів, котрі використовуються для знімання електрода.

Частини електродів, що забезпечують їх з'єднання з вторинним контуром машини, повинні задовольняти вимогам надійної передачі зварювального струму і зусилля стискання. Конусна частина електрода для точкового зварювання виконує саме цю роль. Так як конусна посадочна частина електрода є продовженням середньої частини, то конусність прямих електродів залежить від діаметра електрода і зусилля стискання. При $D_e < 25$ мм і $F_{зв} < 1500$ даН 1:10, при $D_e > 25$ мм і $F_{зв} > 1500$ даН 1:5. Вказані розміри конусів використовують і при виготовленні непрямих електродів. Внутрішня частина більшості електродів для точкового зварювання має канал, котрий виконує функцію охолодження. Всередині каналу трубка для подачі води. Діаметр каналу визначається відповідно до потреб витрат води. Діаметр каналу визначається за формулою (2.6):

$$d_0 = (0,5 - 0,6) * D_e \qquad (2.6)$$

Відстань від робочої поверхні і до дна охолоджуючого каналу має значний вплив на експлуатаційні можливості електрода і визначається за (2.7):

$$h = (0,75 - 0,8) * D_e \qquad (2.7)$$

Електроди для точкового зварювання можуть бути прямими і фігурними.

Фігурні електроди – електроди у яких вісь, що проходить через центр робочої поверхні, сильно зміщена відносно осі посадочної частини. Найбільш поширені прямі електроди, які використовуються при зварюванні деталей, що

					ДП ЗС91.07.00.000ПЗ	Лист
						28
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат		

мають вільні підходи для електродів. Однак існують і складні конструкції, де без фігурних електродів не обійтись.

Форма РБ (робочої поверхні) електродів впливає на експлуатаційні характеристики електродів (табл. 2.1).

Таблиця 2.1. – Порівняльні характеристики форми робочої частини електродів

Форма робочої частини електродів	Плоска	Сферична
Відвід тепла у електроди	зменшується	збільшується
Площа початкового електричного контакту	збільшується	зменшується
Середнє значення опору r_{ee} за цикл	зменшується	збільшується
Необхідний зварювальний струм	збільшується	зменшується
Схильність до вибрикування, утворення вм'ятин, дефектів	збільшується	зменшується

Отже, електроди бувають різні (прямі й фігурні, з плоскою РП і сферичною) і їхні геометричні і конструкційні властивості впливають на значення стійкості.

2.3. Матеріали для електродів

Матеріали для виготовлення електродів повинні мати високі теплопровідні та електропровідні властивості. Крім того, вони повинні мати порівняно високий рівень жаростійкості, твердості і температуру рекристалізації (для сповільнення процесу зминання робочої поверхні електрода), а також малою схильністю до масопереносу.

Мідь є основою для майже для всіх сплавів електродів, бо вона має найбільшу електропровідність. Так нажаль мідь не є жаростійкою, а також має низький рівень твердості і низьку температуру рекристалізації. Дані недоліки доводиться виправляти за допомогою різних методів: наклепом, легуванням з

утворенням твердого розчину, створенням по межах зерен тугоплавкого каркаса, внутрішнім окисленням міді.

В основному для легування міді використовують наступні елементи: Cd, Cr, Ag, Co, Ni. Температуру рекристалізації і твердість підвищують за допомогою малого додавання елементів: Ti, Be, Zr, Al, B, Si. При збільшенні частки легуючих елементів знижується значення електропровідності χ та теплопровідності λ міді (рис. 2.13). Тому сумарна кількість легуючих елементів зазвичай не перевищує 2 %.

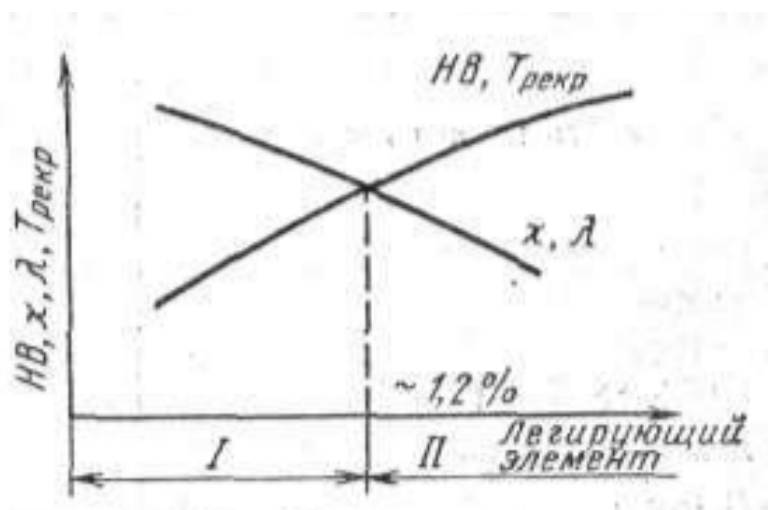


Рис. 2.13 – Схема зміни фізико-механічних властивостей міді при легуванні [41]

При зварюванні алюмінієвих, магнієвих та мідних сплавів використовуються електродні сплави зі зменшеним вмістом легуючих елементів (область I з рис. 2.5), так як ці зварювальні метали мають доволі високі значення електропровідності. Для металів з високим значенням твердості і низьким значенням електропровідності використовуються більш леговані сплави електродів (тобто область II за рис. 2.5). Склад і основні властивості електродних матеріалів приводяться в джерелі [36].

Такі електродні сплави як холодотягнута мідь М1 і сплави зміцнені нагартуванням (БрКд1, БрСр) мають найбільшу електропровідність, але найменшу твердість та температуру рекристалізації. Вони використовуються для зварювання алюмінієвих, магнієвих і мідних сплавів. Якщо необхідно зварити сталь чи титанові сплави то використовуються сплави з меншою

електропровідністю, але при більшій твердості і температурі рекристалізації (Мц5Б, БрХКд, БрХЦр, МЦ2, МЦ4, БрНБТ). Вони являються дисперсними сплавами. Зміцнюються термомеханічною обробкою (відпуском, холодною деформацією).

Сплав МЦ5 вважається найбільш універсальним, бо має високу електропровідність і високі значення твердості. Використовується для сталей та легких сплавів. Сплави БрХ, БрХКд, БрХЦр мають доволі гарні значення твердості та електропровідності і вони широко використовуються для зварювання конструкційних сталей та титанових сплавів. Сплав БрНБТ використовується для зварювання жаростійких нікелевих та кобальтових сплавів.

Спечені порошкові композиції з вольфраму з міддю, карбід вольфраму з міддю (НВ 490), а також вольфрам і сплави молібдену утворюють особливу групу сплавів для контактних електродів. Максимальна жаростійкість та твердість є їхніми перевагами, але в той же час вони мають низьку електропровідність (близько 30%). Їх використовують при точковому зварюванні деталей різної товщини та при зварюванні різнойменних сплавів, а також для зварювання міді та срібла. Здвоєні електроди для мікрозварювання найчастіше виготовляються з вольфраму та молібдену.

Електроди зі спечених матеріалів на базі міді з дисперсним розподілом оксидів: наприклад Al_2O_3 , MgO , BeO (2-3% за об'ємом) використовуються без термообробки. За характеристикою вони аналогічні сплаву БрКд1, але мають покращені жаростійкі властивості. Внаслідок чого зминання електродів відбувається повільніше.

Таким чином матеріал з якого виготовляються контактні електроди є одним з найважливіших факторів, що впливають на їхню зносостійкість. При правильному виборі легуючих елементів підвищуються й зменшують властивості електродних сплавів (наприклад при додаванні будь-якого легуючого елемента до сплаву міді відразу зменшуються значення електропровідності та теплопровідності, але можуть бути поліпшені інші показники). Вибір матеріалу для електродів залежить від матеріалу який необхідно зварити.

					ДП ЗС91.07.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат		31

2.4. Стійкість електродів

Під стійкістю електродів потрібно розуміти їхню здатність зберігати в зазначених межах свої початкові розміри і форму робочої поверхні. При цьому якість зварних з'єднань не повинна бути нижче допустимого значення, котрий задається заздалегідь.

Стійкість електродів визначається багатьма факторами з котрих основними є:

- Властивості сплаву електродів;
- Властивості поверхні металу зварних деталей;
- Температура плавлення металу деталей;
- Режим і темп зварювання (параметри режиму і форми струму);
- Конструкція електродів (форма, розмір);
- Охолодження електродів;
- Розміри литої зони зварних з'єднань

Й досі не існує загальновизнаного об'єктивного критерію оцінки стійкості електродів контактних машин. Стійкість електродів може оцінюватись число успішних (якісних) виконаних зварних з'єднань (точок), які можуть бути виконані без зачистки робочої поверхні електрода. Велика кількість факторів. Що впливають на стійкість електродів ускладнює установлення критерію оцінки якості електродів. Тому визначення експлуатаційної стійкості проводиться практичним шляхом.

Реальні дані стійкості електродів з різноманітних сплавів отримують шляхом точкового зварювання різних металів електродами, котрі необхідно випробувати, і побудовою графіків залежності зміни розмірів РБ (робочої поверхні електродів) від числа зварених точок. Показником стійкості вважається кількість точок, зварених до збільшення діаметра початкової РБ електрода на 20%, а також загальне збільшення діаметра початкової РБ електрода при зварюванні.

					ДП ЗС91.07.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат		32

Критерій оцінки стійкості електродів за збільшенням діаметра їх РБ використовується лише при зварюванні маловуглецевих, легованих і нержавіючих сталей, а також деяких інших металів. При зварюванні легких сплавів змінення розмірів і форми РБ електродів не може використовуватись як критерій оцінки стійкості електродів, так як ще задовго до змінення розмірів електродів на поверхні зварювальних деталей починають з'являтися потемніння, що вказує на інтенсивний перехід матеріалу електрода на деталь і можливості місцевої корозії зварних виробів. Тому як критерій при зварюванні легких сплавів використовується кількість точок, зварених на даних електродах до їх зачистки. Необхідність зачистки встановлюється при появі темного нальоту на поверхні зварної точки і за прилипанням електродів до деталей. Степінь забруднення може бути визначена шляхом змочування поверхні точки розчином лугу [41].

До зварних з'єднань з легких сплавів в залежності від умов їхньої роботи можуть бути представлені різні вимоги. У відповідальних конструкціях вимагається стабільна міцність і не допускаються сліди міді на поверхні деталей, щоб уникнути корозії. При зварюванні конструкцій, які не підлягають високим навантаженням, основними вимогами до матеріалу електродів стає зварювання максимальної кількості точок без зачистки і переточки.

На стійкість електродів при точковому зварюванні легких сплавів сильно впливає матеріал і стан поверхні зварюваних деталей. В залежності від якості її підготовки електроди зачищають від забруднення після зварювання кожні 100-400 точок.

В деяких галузях (наприклад в автомобілебудуванні) при масовому виробництві підтримується високий темп зварювання, що може доходити до 200 точок/хв. Температура електродів підвищується, бо вони не встигають охолоджуватись, і умови роботи електродів значно погіршуються. Зниження міцності металу настає швидше і електроди потрібно частіше зачищати, точити й замінити. Так, при зварюванні електродами з хромованої бронзи маловуглецевої сталі товщиною 1+1 мм з темпом 40 точок/хв. стійкість складає 7500-8000 точок, а при темпі 200 точок/хв. – всього 2000-2500 точок [41].

					ДП ЗС91.07.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат		33

Вплив режимів зварювання на стійкість електродів можна також визначити, якщо оцінювати параметром температури, що встановлюється на РБ електродів при тому чи іншому режимі зварювання. М'які режими зварювання супроводжуються високою температурою в контакті електрод-деталь, жорсткі – більш низькою температурою. На (рис. 2.14) зображено залежність числа зварювальних точок, котрі були виконані до збільшення РБ електрода на 20%.

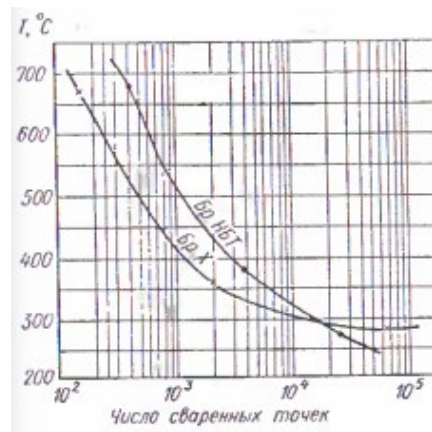


Рис 2.14 – Залежність стійкості електродів з різних сплавів до температури робочої поверхні [41]

Як видно з графіка (рис. 2.14) сплав БРХ при високих температурах є менш стійким ніж сплав БР НБТ, але при температурах $300\text{ }^\circ\text{C}$ стійкість БРХ перевищує інший сплав. Ці сплави відрізняються один від одного не тільки фізичними й механічними властивостями, але й величиною зерна. Відомо, що при підвищених температурах більш високим опором повзучості мають матеріали з великими зернами, а при низьких температурах – з малим зерном.

На стійкість електродів суттєво впливає діаметр робочої частини D_e . На (рис. 2.15, а) показано зміну діаметра d_e плоскої робочої частини електрода з БР.НБТ в залежності від розміру D_e . При точковому зварюванні жаростійкого сплаву ВЖ98 товщиною $1,2 \pm 0,2$ мм.

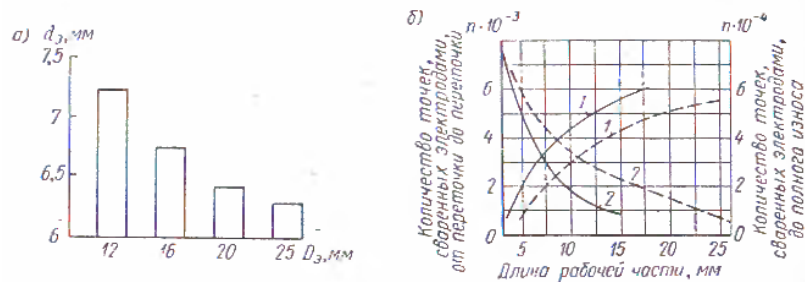


Рис. 2.15 – Стійкість електродів при точковому зварюванні [41]:

а – залежність стійкості від діаметра D_e РП електрода з БР.НБТ; б – залежність стійкості від довжини РБ електрода з БР.Х; 1 – до повного зносу; 2 – від переточки до переточки; при $D_e = 16$ мм (суцільна лінія); $D_e = 25$ мм (штрихова лінія)

Крім РП електрода на стійкість електрода також впливає й відстань від дна охолоджуючого каналу до РБ. Зі збільшенням довжини робочої частини загальна кількість точок зварених даним електродом збільшується; стійкість електродів від переточки до переточки збільшується (рис. 2.7, б)

Отже, як вже й було сказано, на стійкість електродів впливають багато факторів, тому неможливо дати які-небудь загальні норми витрати електродних сплавів. Такі норми визначаються експериментальним шляхом в кожному конкретному випадку.

2.5. Способи підвищення зносостійкості електродів

Число зварних точок, котрі виготовляються новим електродом до повного зносу довжини його робочої частини, n визначається за формулою Чулошнікова (2.8):

$$n = K_0 * K_1 * K_2 * K_3 * K_4 * K_5 * K_6 * K_7 * t * n_0 \quad (2.8)$$

$K_0 - K_7$ – коефіцієнти зносу, які залежать відповідно від товщини деталей ($K_0 = 0,5 \dots 0,95$), діаметра ($K_1 = 1 \dots 1,2$), форми ($K_2 = 0,9 \dots 1$), змінності ($K_3 = 0,9 \dots 1$), випадкового зносу електрода ($K_4 = 0,7 \dots 1$), якості підготовки поверхні деталі ($K_5 = 0,3 \dots 1$), типу зварювальної машини ($K_6 = 0,4 \dots 1,2$), темпу

зварювання ($K_7 = 0,7 \dots 1,2$); n_0 – число зварних точок, котрі були виконані при зносі 1 мм довжини РП електрода при зварюванні листа товщиною 1+1 мм; m – зношуваність частини електрода ($m = 7 \dots 10$ мм).

Якщо звернути увагу на коефіцієнти формули (2.4) то можна зробити висновок, що при якісній підготовці поверхонь деталей, при зниженні темпу зварювання і при правильному виборі типу зварювальної машини можна збільшити стійкість електродів найбільше.

Також аналіз залежності коефіцієнтів зносу від різних технологічних факторів дозволяє визначити методи підвищення зносостійкості електродів окремо й для легких сплавів і чорних металів. Необхідно виконати наступні вимоги:

- Зварювання необхідно проводити на конденсаторних машинах ($K_6 = 1,2$), а не на машинах змінного струму ($K_6 = 0,4$);
- Виконувати хімічну підготовку (травлення з пасивацією) поверхні ($K_5 = 1$) замість механічної ($K_5 = 0,3$);
- Темп зварювання не повинен перевищувати 40-50 точок/хв. ($K_7 = 1,2$), так як при темпі в 100-200 точок/хв. ($K_7 = 0,7$);
- Відстань від РП до дна охолоджуючого каналу не повинно перевищувати 8 мм, так як при збільшенні до 10 мм призводить до збільшення витрат в 2 рази.
- Знизити температуру у контакті електрод-деталь за рахунок примусового внутрішнього, зовнішнього ао комбінованого водяного охолодження.

Наприклад в роботі Давиденко О. А., Завдовєєва А. В. [16] для підвищення стійкості електродів було використано метод деформаційно-термічної обробки, що включає операцію гартування, КГЕ, старіння і ГЕ на довгомірних прутках діаметром 10 мм. За допомогою цього методу була досягнута твердість HV 190. В роботі вказано, що при обробці сплаву за розробленою схемою реалізується високий рівень міцності властивостей в інтервалі температур, котрі розвиваються на РП електрода (аж до 450 °C). В результаті було отримано результати, що

					ДП ЗС91.07.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат		36

вказують, що виготовлені наконечники електродів забезпечують підвищення стійкості електродів на 15 %.

В джерелі [38] Пьянкова И. Б., Ерофеева В. А., Страхова Е. А. було розглянуто критерії оцінки умов експлуатації електродів при контактному точковому зварюванні. За критерії стійкості електродів були вибрані відношення тиску в контактах електрод-деталь до твердості РП електродів, а також значення температури цих поверхонь, котрі визначаються за допомогою комп'ютерного моделювання зварного процесу.

В роботі Бусигіна С. Л., Токміна А. М., Богданова В. В., Готовко С. А. [2] було досліджено метод виготовлення електродів контактного зварювання спільним методом лиття і штампування. В результаті виготовлення електродів спільним методом лиття і штампування вдалось отримати електроди, що за твердістю, електропровідністю і стійкістю перевершують електроди з аналогічних сплавів, котрі отримують традиційними методами (рис. 2.16).

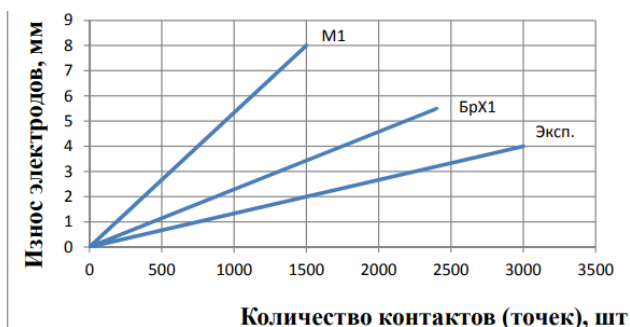


Рис. 2.16 – Графік залежності степені зносу електродів від кількості точок [2]

Таким чином для підвищення зносостійкості електродів необхідно звернути увагу на температуру якій вони піддаються, параметри зварювання, конструкцію електродів, підготовку поверхонь деталей, матеріал електродів.

2.6. Висновки до розділу два

Отже, електроди для контактного точкового зварювання є важливим елементом вторинного контуру зварної машини. Вони є змінним матеріалом, бо умови їхньої експлуатації є доволі жорсткими. Як вже й було згадано, на стійкість

електродів впливають багато факторів, такі як: властивості сплаву електродів (властивості й відсоток легуючих елементів); властивості поверхні деталей; властивості деталей, що необхідно зварити; режими й параметри зварювання; конструкція електродів; способи охолодження; розміри необхідного зварного ядра деталей.

З метою підвищення стійкості електродів існують наступні способи вирішення цієї проблеми, які були вказані в розділі 2.4.:

- Зниження температури в зоні електрод-деталь за рахунок охолодження;
- Зміна (коректування) відстані РП до дна охолоджуючого каналу;
- Дотримання оптимального темпу зварювання (щоб електроди встигали остигати повністю, а не частково);
- Ретельна підготовка поверхні деталей для зварювання;
- Вибір оптимального обладнання для зварювання
- Дотримання відповідних параметрів зварювання для кожного конкретного випадку;
- Розроблення нових сплавів та методів виготовлення електродів, котрі підвищують їхню зносостійкість та інші технологічні параметри (як вказано, наприклад, в джерелах: [16, 38, 2, 46, 42, 28]).

3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

В даному розділі ДП розглянуто обладнання для контактного зварювання, котре використовувалось в ході експерименту, електроди, деталі для зварювання, розрахунок параметрів зварювання й сам процес зварювання.

3.1. Опис обладнання

В ході даного експерименту була застосована машина типу МТ-1215. Машина типу МТ-1215 (рис. 3.17) призначена для точкового зварювання маловуглецевих, нержавіючих і алюмінієвих деталей.

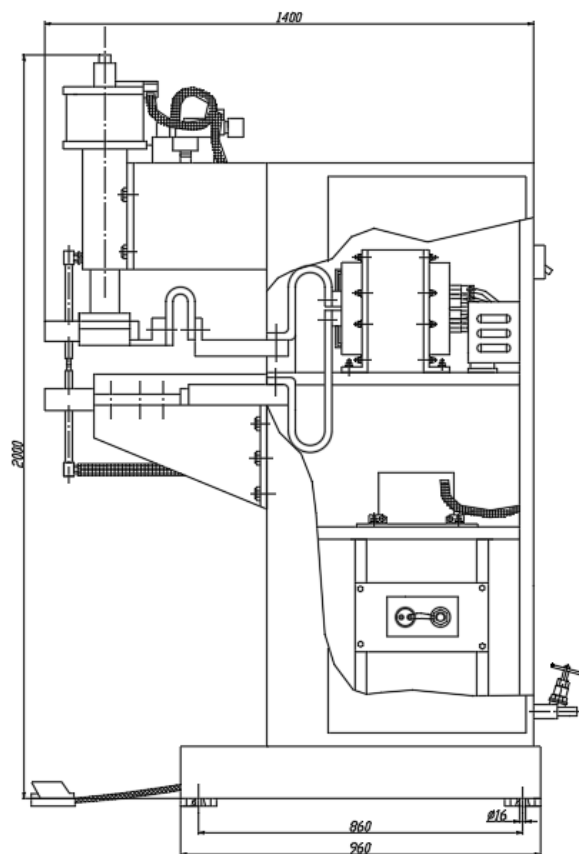


Рис. 3.17 – Машина для контактної точкової зварювання МТ-1215 (вид збоку)

Технологічні дані (параметри) машини для точкового контактної зварювання приводяться в ГОСТ 297-73 [14]. Технічні характеристики приведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2. – Технічна характеристика МТ-1215

Номінальна напруга живлення частотою 50 Гц, В	380
Номінальний вторинний струм, кА	11
Номінальна потужність, кВА	83
Коефіцієнт потужності при короткому замиканні на номінальному ступені	0,425
Номінальний первинний струм, А	141
Номінальний тривалий вторинний струм, А	5600
Регулювання зварювального струму	Комбіноване
Межі регулювання вторинної напруги, В	2,2-4,4
Кількість ступенів регулювання вторинної напруги зварювального трансформатора	8
Номінальна ступінь регулювання вторинної напруги	7
Тривалість зварювання, с	0,02-2,00
Максимальна продуктивність машини при зварюванні деталей з маловуглецевої сталі товщиною 1,0+1,0 мм при роботі кроком – 10 мм, точок/хв.	200
Діапазон зварюваних товщин деталей з маловуглецевої сталі, мм • Жорсткий режим • М'який режим • Нержавіючої сталі	Від 0,5+0,5 До 1,6+1,6 До 2,5+2,5 1,0+1,0
Привід зварювального зусилля	пневматичний
Загальний хід верхнього електрода, мм	80
Корисний виліт машини, мм	500
Номінальний тиск стиснутого повітря, кгс/см ²	150
Номінальне зусилля на електродах, кгс	630
Маса машини, кг не більше	430

РЦС в даній машині зварювання є модифікованим саморобним регулятором, котрий може бути запрограмованим за власним бажанням і, котрий забезпечує запис даних за допомогою Е 14-140. Цей модифікований РЦС є більш гнучким і практичним ніж стандартно встановлений.

Отже, Е 14-140 (рис. 3.18) – пристрій для універсально-програмного забезпечення для використання зі стандартною послідовною шиною USB і призначений для побудови багатоканальних вимірювальних систем вводу, виводу і переробки аналогової і цифрової інформації в склад персональних сучасних комп'ютерів.



Рис. 3.18 – Зовнішній вигляд модуля Е 14-140

Також до обладнання належить контактор тиристорний КТ-07 (рис. 3.19). Він призначений для комплекції точкових, шовних і рельєфних контактних зварювальних машин і виконує роль комутації і керування однофазним струмом. Параметри КТ-07 приводяться в табл. 3.3.

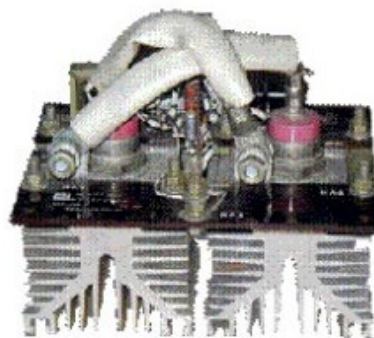


Рис. 3.19 – Контактор тиристорний КТ-07

Таблиця 3.3. – Параметри КТ-07

Напруга мережі, В	220; 380
Частота мережі, Гц	50; 60
Номінальний зварювальний струм при ПВ=100%, А і тривалістю імпульсу 0,5 с	145
Номінальний зварювальний струм при ПВ=50%, А і тривалістю імпульсу 0,5 с	240
Номінальний зварювальний струм при ПВ=20%, А і тривалістю імпульсу 0,5 с	480
Номінальний зварювальний струм при ПВ=5%, А і тривалістю імпульсу 0,5 с	800
Маса, кг не більше	6
Габарити, мм	225x230x190

Отже, зварювання буде проводитись на машині для контактного зварювання МТ- 1215 з регулятором РЦС (модифікованим) та тиристорним контактором КТ-07. Вимірювання проводиться за допомогою модуля Е 14-140.

3.2. Електроди

В ході даного експерименту виготовлено електроди для перевірки їх стійкості до зносу. Так як запропонованого матеріалу було надано замало, то його було не достатньо для виготовлення цілісного електрода. Тому був використаний електрод марки БрХ як основа, а запропонований матеріал буде виконувати роль РП електрода (рис. 3.20).

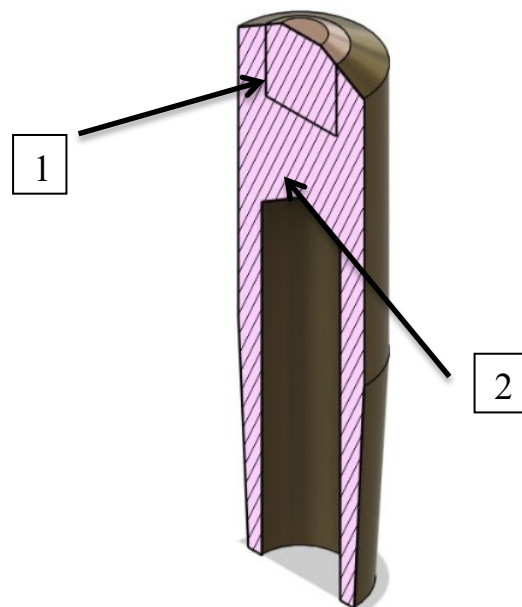


Рис. 3.20 – Експериментальний електрод

1 – запропонований матеріал; 2 – БрХ

Марка БрХ використовується для теплообмінників та для виготовлення електродів для контактного зварювання. В табл. 3.4., 3.5. наведені хімічний склад та фізичні властивості БрХ відповідно до ГОСТ 14111-90 [10].

Температура плавлення складає: 1073°C ;

твердість матеріалу в холодному стані: $HV \cdot 10^{-1} = 115 \text{ МПа}$.

Таблиця 3.4. – Хімічний склад БрХ, %

Fe	Cr	Cu	Zn
До 0,08	0,4-1	98,5-99,6	До 0,3

Таблиця 3.5. – Фізичні властивості БрХ

T(град)	$E \cdot 10^{-5}(\text{МПа})$	$\alpha \cdot 10^6 \left(\frac{1}{\text{град}}\right)$	$\lambda \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{град}}\right)$	$\rho \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right)$	$R \cdot 10^{-9}(\text{Ом} \cdot \text{м})$
20	1,31	17	314	8920	22

Запропонований матеріал для РП електрода виготовлений з мідного порошку 97% та сажі (тобто вуглецю С) методом спікання заготовок 10х10х100 мм. Більш детальний хімічний склад, механічні та фізичні властивості є невідомими. Але виміряна твердість даного матеріалу за методом Брюнелля твердоміром ТМ-2М у відповідності до ГОСТ 23677-79 [13]. Навантаження складало $P = 1000$ кгс, діаметр кульки індентора був $D = 10$ мм, а діаметри відбитків $d_1 = 3,6$, $d_2 = 3,9$ мм. У відповідності до джерела [34] використовується формула для визначення твердості виходячи з відомих даних:

$$HB = \frac{2 * P}{\pi * D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (3.9)$$

При діаметрі 36 мм:

$$HB = \frac{2 * 1000}{3,14 * 10(10 - \sqrt{10^2 - 3,6^2})} = 94,99 \text{ кгс/мм}^2$$

При діаметрі 39 мм:

$$HB = \frac{2 * 1000}{3,14 * 10(10 - \sqrt{10^2 - 3,9^2})} = 80,44 \text{ кгс/мм}^2$$

Отже, береться середнє значення HB. Твердість складає $HB = 88$ кгс/мм². В свою чергу чиста м'яка мідь має твердість $HB = 45 - 55$ кгс/мм².

Відповідно до розмірів електротримачів машини для контактного точкового зварювання, котрі розраховані на електроди діаметром 16 мм, в даному випадку саме цей розмір середньої частини електрода й використовується. Відповідно до ГОСТ 14111-90 [10] обираються й інші геометричні розміри електрода: розмір охолоджуючого каналу електрода, діаметр РП електрода, конусність робочої частини електрода, відстань від РП до дна охолоджуючого каналу. Відповідні формули для розрахунку наведені в розділі 2, це формули (2.5), (2.6), (2.7).

$$d_e = 2 * (\delta + 2) = 2 * (0,8 + 2) = 5,6 \text{ мм}$$

Діаметр РП в результаті вийшов 5,6 мм, але враховуючи діаметр робочої частини електрода та матеріал для зварювання обирається один з стандартних

					ДП ЗС91.07.00.000ПЗ	Лист
						44
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат		

розмірів РП: $d_e = 5$ мм. А так як зварюється низьковуглецева сталь то й форма робочої частини електрода пласка.

Конусність посадочної частини електрода залежить від діаметра середньої частини. При $D_e < 25$ мм конусність 1:10.

Діаметр охолоджуючого каналу зазвичай складає 8 мм, але не більше ніж максимальне значення за формулою (2.6):

$$d_0 = (0,5 - 0,6) * D_e = 0,5 * 16 = 8 \text{ мм}$$

Відстань від РП до дна охолоджуючого каналу зазвичай складає від 8...10 мм але не більше ніж максимальне значення за формулою (2.7):

$$h = (0,75 - 0,8) * D_e = 12,8 \text{ мм}$$

Кут конічної частини буде складати стандарті 30 градусів. На (рис. 3.21) зображені розміри виготовленого електрода. Загальна довжина електрода не регламентується, тому в даному випадку вона складає 60 мм.

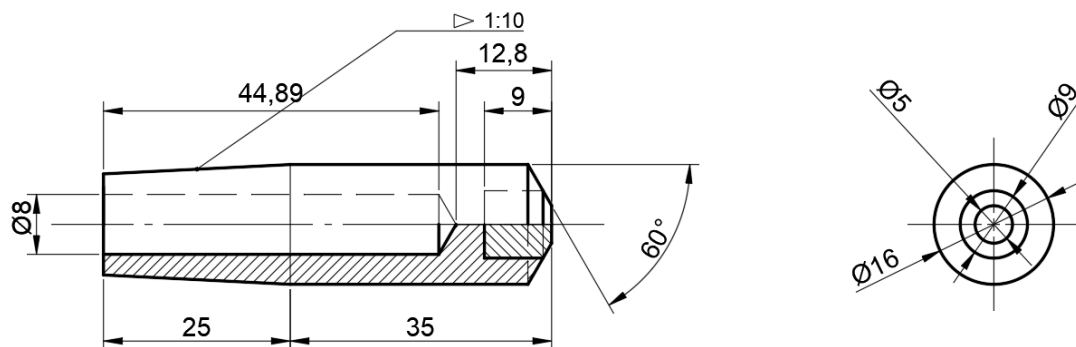


Рис. 3.21 – Розміри виготовленого електрода

Для виготовлення даного електрода був виконаний отвір діаметром 9 мм на ЧПК фрезерному верстаті. Також з заготовки наданого матеріалу (порошкової міді з вмістом сажі) розмірами 10x10x100 мм була виготовлена форма циліндра діаметром 9 мм та висотою ~10 мм на токарній машині. Далі вставка запресовувалась в виготовлений отвір електрода, в результаті чого дане з'єднання вважається нероз'ємним та нерухомим. Знову виконувалась робота на токарній машині, щоб розміри РП відповідали необхідним. Даним методом було виготовлено два електроди. На (рис. 3.22) зображено один з виготовлених електродів.



Рис. 3.22 – Виготовлений електрод

Отже, електрод для дослідження буде складатись з двох частин: основа з БрХ, а РП з порошкової міді з сажею. Твердість даного експериментально матеріалу $HV = 88 \text{ кгс/мм}^2$, що вдвічі ліпше за чисту мідь. Конструкційні розміри порашовані за ГОСТ 14111-90 [10].

3.3. Аналіз матеріалу деталей

Деталі, що зварюються, мають форму стрічок довжиною в 1500 мм, шириною 20 мм та товщиною 0,8 мм. Дані деталі не є габаритними та їх можна без ускладнень зварювати на даній машині для контактного точкового зварювання МТ-1215. Виготовлені стрічки з марки сталі Ст3. в табл. 3.6. вказаний хімічний склад Ст3 відповідно до ДСТУ 2651:2005 [21].

Таблиця 3.6. – Хімічний склад Ст3 відповідно до ДСТУ 2651:2005, %

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As	Fe
0,14- 0,22	0,15- 0,3	0,4- 0,65	До 0,3	До 0,05	До 0,04	До 0,3	До 0,008	До 0,3	До 0,08	~97

Звернувши увагу на табл. 3.6., помітно, що Ст3 є низьковуглецевою ($0,22 \% \text{ C} < 0,3 \% \text{ C}$), низьколегованою (частка легуючих елементів $< 5 \%$). Ст3

не містить елементів (Al, Ti ...), що характеризуються високою хімічною активністю.

Ст3 класифікують як вуглецеву сталь звичайної якості. В промисловості використовують для несучих елементів і не зварних конструкцій і деталей, котрі знаходяться в умовах підвищеної температури. Зварюваність Ст3 є необмеженою, а схильність до відпускнуї крихкості відсутня. Твердість Ст3: $HV \cdot 10^{-1} = 131$ МПа в холодному стані.

3.4. Розрахунок параметрів зварювання

В даному розділі будуть розраховані розміри конструкційних елементів зварного з'єднання: такі як діаметр ядра $d_{\text{я}}$, величина проплавлення h , глибина вм'ятин g , величина напуску B , відстань від центра точки до краю напуску u , крок точок l (рис. 3.23). Даний розрахунок проводиться на основі джерела [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Також будуть розраховані значення зусилля стиску між електродами, час зварювання, сила зварювального струму та кількість теплоти, котра необхідна для утворення зварного з'єднання.

За допомогою джерела [43] визначаються параметри зварних з'єднань відповідно до ГОСТ 15878-70 [12].

Відповідно до товщини деталей 0,8+0,8 мм обираються наступні параметри:

- Діаметр ядра є не меншим $d_{\text{я}} = 4$ мм;
- Крок точок $l = 15$ мм;
- Величина напуску $B = 11$ мм;
- Допустима величина проплавлення h складає 20 – 80 % товщини деталей.
Вважаю, що $h=0,6 \cdot 0,8=0,48$ мм;
- Глибина вм'ятин не перевищує 20 % товщини деталі. $g=0,2 \cdot 0,8=0,16$ мм;
- $u=0,5 \cdot B_{\text{min}}=0,5 \cdot 11=5,5$ мм.

					ДП ЗС91.07.00.000ПЗ	Лист
						47
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат		

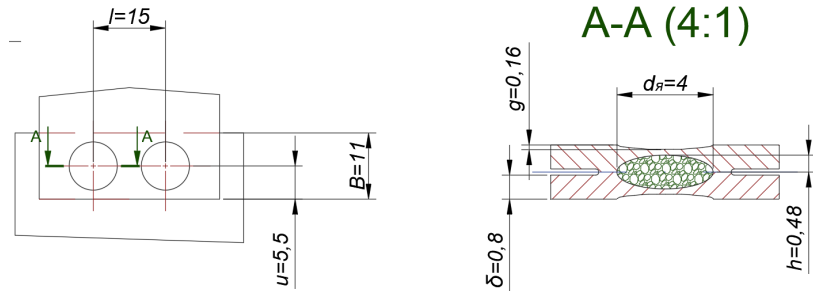


Рис. 3.23 – Розміри конструктивних елементів зварного з'єднання деталей 0,8 мм

Відповідно до матеріалу деталей під зварювання та їх товщини використовують різні цикли зміни зусилля стискання між електродами та зварювального струму. Відповідно до джерела [43] обираю підходящий цикл для Ст3 (цикл для низьколегованої сталі). Параметри зображено в табл. 3.7.

Таблиця 3.7. – Рекомендовані параметри режиму зварювання для деталей однакової товщини на машинах змінного струму

Матеріал	Товщина деталей, мм	Параметри режиму		Циклограма
		Зусилля електродів $F_{зв}$, кН	Час $t_{зв}$, с	
Низьковуглецеві сталі	0,8	2-2,5	0,12	

З табл. 3.7. виходить, що $F_{зв}=2,5$ кН та час зварювання $t_{зв}=0,16$ с.

Величину струму обираю за табл. 3.8. з літератури [Ошибка! Источник ссылки не найден.] для металів групи 1.

Таблиця 3.8. – Орієнтовні режими зварювання металів групи 1 на однофазних машинах змінного струму

δ , мм	Точкове зварювання				
	$I_{зв}$, кА	$t_{зв}$, с	$F_{зв}$, кН	F_k , кН	t_k , с
0,5	6-7	0,08-0,1	1,2-1,8	-	-
0,8	7-8,5	0,1-0,14	2-2,8	-	-

Отже відповідно до табл. 3.7. та табл. 3.8. де можна порівняти дані, будуть обрані наступні параметри для режиму контактного точкового зварювання:

- Зварювальний струм: $I_{зв} = 8$ кА;
- Час зварювання: $t_{зв} = 0,16$ с;
- Зусилля стискання між електродами: $F_{зв} = 2,5$ кН.

Кількість теплоти необхідна для формування зварної точки розраховується за формулою (1.4) з розділу 1.

$$Q_{ee} = Q_1 * Q_2 * Q_3$$

Де Q_1 , Дж – енергія, що витрачається на нагрівання до температури плавлення $T_{пл}$ К, стовпчика металу зварюваних деталей заввишки 2δ та діаметром $d_{я}$; Q_2 , Дж – теплота, що витрачається на нагрівання до температури $\Delta T_{пл}/4$ металу кільця шириною X_2 , яке оточує стовпчик розплавленого металу; Q_3 , Дж – витрати теплоти на нагрівання умовного циліндра металу електродів заввишки X_3 і діаметром $d_{я}$ до середньої температури $\Delta T_{пл}/8$.

Необхідні дані для розрахунку тепла для Ст3:

- Теплоємність $c = 0,67 * 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$;
- Густина металу $\gamma = 7830$ кг/м³;
- Дельта температури плавлення $\Delta T_{пл} = T_{пл} - T_0$, К $T_{пл} = 1803$ К, а $T_0 = 273$ К відповідно $\Delta T_{пл} = 1803 - 273 = 1530$ К;
- Товщина деталі $\delta = 0,0008$ м;
- Діаметр ядра $d_{я} = 0,004$ м.

Розрахунок Q_1 за формулою (3.10):

					ДП ЗС91.07.00.000ПЗ	Лист
						49
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат		

$$Q_1 = \frac{\pi * d_{\text{я}}^2}{4} * 2 * \delta * c * \gamma * \Delta T_{\text{пл}} \quad (3.10)$$

$$Q_1 = \frac{3,14 * 0,004^2}{4} * 2 * 0,0008 * 0,67 * 10^3 * 7830 * 1530 \\ = 161,3 \text{ Дж}$$

Розрахунок Q_2 за формулою (3.11):

$$Q_2 = k_1 * \pi * X_2 * (d_{\text{я}} + X_2) * 2\delta * c * \gamma * \Delta T_{\text{пл}}/4 \quad (3.11)$$

$k_1 \approx 0,8$; ширина кільця, що оточує ядро, визначається товщиною деталей, температуропровідністю а їхнього металу та часом зварювання. Для низьковуглецевих та низьколегованих сталей, як Ст3, ширину кільця розраховують за формулою (3.12):

$$X_2 = 1,2 * \sqrt{t_{\text{зв}}} * 10^{-2} = 1,2 * \sqrt{0,16} * 10^{-2} = 0,0048 \text{ м} \quad (3.12) \\ Q_2 = 0,8 * 3,14 * 0,0048 * (0,004 + 0,0048) * 2 * 0,0008 * 0,67 \\ * 10^3 * 7830 * \frac{1530}{4} = 341 \text{ Дж}$$

Розрахунок Q_3 за формулою (3.13):

$$Q_3 = 2 * k_2 * \frac{\pi * d_{\text{я}}^2}{4} * X_3 * c * \gamma * \Delta T_{\text{пл}}/8 \quad (3.13)$$

k_2 – коефіцієнт, який враховує форму робочої частини електрода. Так як РП електрода конічна з плоскою частиною то $k_2 = 1,5$; X_3 , м – визначається часом зварювання і температуропровідністю металу електродів, визначається за формулою (3.14):

$$X_3 = 3,3 * \sqrt{t_{\text{зв}}} * 10^{-2} = 3,3 * \sqrt{0,16} * 10^{-2} = 0,0132 \text{ м} \quad (3.14) \\ Q_3 = 2 * 1,5 * \frac{3,14 * 0,004^2}{4} * 0,0132 * 0,45 * 10^3 * 8900 * \frac{1083}{8} \\ \approx 270 \text{ Дж}$$

Розрахунок повної теплоти теплового балансу за (1.4):

$$Q_{\text{еє}} = Q_1 * Q_2 * Q_3 = 161,3 + 341 + 270 = 772,3 \text{ Дж}$$

Розподіл теплоти зображений на (рис. 3.26) у %.

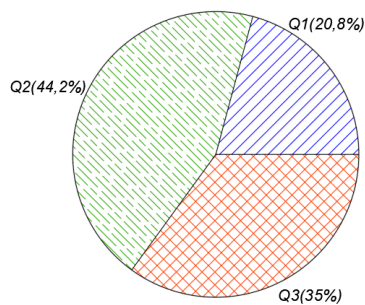


Рис. 3.26 – Діаграма балансу загальної енергії

Відповідно до формули Джоуля-Ленца в котрій виражається зварювальний струм (3.15) також знаходжу струм, щоб порівняти його з табличними даними:

$$I_{зв} = \sqrt{\frac{Q_{ee}}{K_3 * R_{д.кін} * t_{зв}}} = \sqrt{\frac{772,3}{1,1 * 115 * 10^{-6} * 0,16}} \approx 6028 \text{ A} \quad (3.15)$$

Так як ще й враховують й струм шунтування то вибір зварювального струму 8 кА є доцільним рішенням.

Отже, відповідно до даного розділу, для зварювання будуть використані наступні параметри:

- $I_{зв} = 6 - 8 \text{ кА};$
- $t_{зв} = 0,16 \text{ с};$
- $F_{зв} = 2,5 \text{ кН}.$

3.5. Підготовка поверхонь деталей

Підготовка поверхонь деталей до зварювання є важливим етапом зварювання процесу, і якість та методи даного етапу сильно впливають на зносостійкість електродів контактного зварювання та на якість виконання само зварного з'єднання.

Відповідно до джерела [45] поверхність деталей перед зварюванням очищають від жирів, фарби і інших забруднень. Знежирення поверхні виконують ацетоном, бензином та іншими розчинниками. Для деталей з корозійностійких сталей, жаростійких і титанових сплавів, котрі не піддають термічній обробці, не потрібна підготовка поверхні, крім знежирення. В серійному й масовому виробництві (автомобільна галузь та виготовлення вагонів) підготовка поверхонь

деталей з холоднокатаної сталі не виконується, так як тонкий шар мастила майже не впливає на процес зварювання і веде лише до збільшення зносу електродів.

В даному ДП деталі (стрічки довжиною 1500 мм, шириною 20 мм і товщиною 0,8 мм) були забруднені іржею, тому для її видалення використовувався наждачний папір зернистістю 80 Р. Після ретельної очистки стрічок наждачним папером, деталі були готові до зварювання.

3.6. Процес зварювання

Після перевірки апаратури для зварювання та апаратури для вимірювання зварних параметрів проходить й сам процес зварювання стрічок виготовленими й правильно встановленими на електротримачі електродами (співвісність електродів важлива, так як в інакшому випадку будуть змінюватись розміри зварного з'єднання та можливі виникнення дефектів). З'єднання є напусковим. Крок точок складає 15 мм (як вже й було розраховано в попередньому розділі). Швидкість зварювання склала 5 точок/хв. На (рис. 3.24) зображено результати зварювання.



Рис. 3.24 – Зварні точкові з'єднання виготовлені з допомогою експериментальних електродів

Зварювання проводилось на сьомому ступені трансформатора, на котрому максимальний струм складає приблизно 10 кА. Спочатку було проведено зварювання при 70% часу проходження струму, але це призвело до вибрикування. Дві наступні спроби були проведені при 60% часу проходження

					ДП ЗС91.07.00.000ПЗ	Лист
						52
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат		

струму, але зварне з'єднання не було сформоване. Всі наступні зварні точки були виконані при 65% часу проходження струму. Всього було виготовлено 160 зварних точок. Під час зварювання перших 40 зварних точок спостерігалось явище прилипання електродів до деталей, після зварної точки 40 прилипання майже було відсутнє.

Таким чином, в процесі зварювання було виготовлено 160 зварних точок при швидкості 5 точок на хвилину з кроком 15 мм. Були зняті дослідні дані діаметру РП електродів для визначення стійкості. Під час зварювання певної кількості точок електроди прилипали до деталей.

3.7. Висновок до розділу 3

Як висновок до даного розділу, можна сказати, що зварювання проводилось на машині для контактного точкового зварювання МТ-1215 з модифікованим регулятором та тиристорним контактором КТ-07. Модуль Е 14-140 використовувався для зняття експериментальних даних (струм та напруга на електродах).

Електроди для дослідження складаються з двох частин: основа з БрХ, робоча поверхня – дослідний матеріал (порошкова мідь з вмістом сажі). Конструкція електродів була визначена відповідно до ГОСТ 14111-90 [10].

Були пораховані основні параметри для зварювання: струм $I_{зв} = 6 - 8$ кА, час $t_{зв} = 0,16$ с, зусилля стиску електродів $F_{зв} = 2,5$ кН.

Підготовка поверхонь деталей проводилась за допомогою наждачного паперу зернистістю 80 Р, так як необхідно було позбутись іржі.

Сам процес зварювання проходив стабільно (якщо не враховувати перші три невдалі зварні точки), але було наявне явище прилипання електродів.

					ДП ЗС91.07.00.000ПЗ	Лист
						53
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат		

4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Зміна діаметру робочої поверхні електродів

Стійкість даних досліджуваних точкових електродів з плоскою РП буде оцінюватись відповідно до збільшення діаметра РП. Виміри діаметра РП електродів проводились кожні 20 зварних точок. Для цього використовувалися звичайні стрічки паперу та копіювальний папір. У зігнуті навпіл в довжину стрічки паперу вкладався так само копіювальний папір, після чого вони піддавались зусиллю стиску електродами внаслідок чого на папері залишалися відбитки, котрій й можна вимірювати. На (рис. 4.25) зображено дані відбитки РП електродів. На (рис. 4.26) зображено електроди після зварювання.

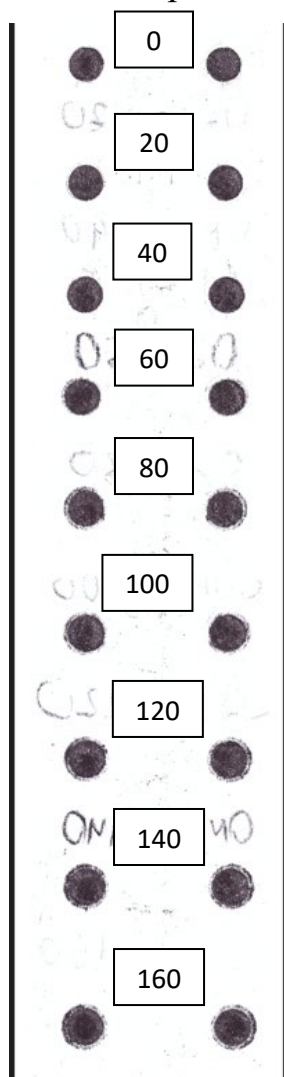


Рис. 4.25 – Відбитки електродів



Рис. 4.26 – Електроди після зварювання

Використовуючи дані виміру відбитків РП будується графік залежності кількості точок до площі РП (рис. 4.27).

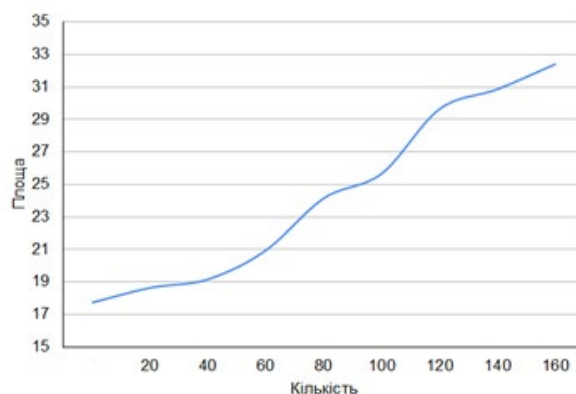


Рис. 4.27 – Графік залежності площі РП до кількості зварних точок

Отже, діаметр відбитків РП електродів збільшився від $\sim 4,75$ мм до $\sim 6,5$ мм. При цьому якщо використовувати значення початкового діаметру РП $\sim 4,75$ мм, то електрод вважається зношеним при $4,75 + (4,75 * 0,2) = 5,7$ мм. При виготовлені точки 100 це значення вже було досягнуте, а отже електрод вже був зношеним. Це вказує на те що стійкість дослідного матеріалу (порошкової міді з вмістом сажі) для РП електродів є дуже низькою.

4.2. Аналіз осцилограм зварного процесу

Під час зварювання за допомогою використання АЦП для кожної двадцятої точки також були побудовані осцилограми, котрі вказують на певні додаткові

					ДП ЗС91.07.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат		55

результати досліджень (перша осцилограма була побудована на зварній точці 4, так як перші 3 точки були невдалими). Відповідно до отриманих результатів спочатку аналізується осцилограма залежності струму зварювання і напруги до часу зварювання. На (рис. 4.28, 4.29, 4.30, 4.31) зображуються осцилограма для 4-тої, 60-тої, 100-тої і 160-тої зварних точок. В додатку Д приводяться осцилограми кожної двадцятої зварної точки. Червоною кривою позначається напруга на електродах, а синьою зварювальний струм.

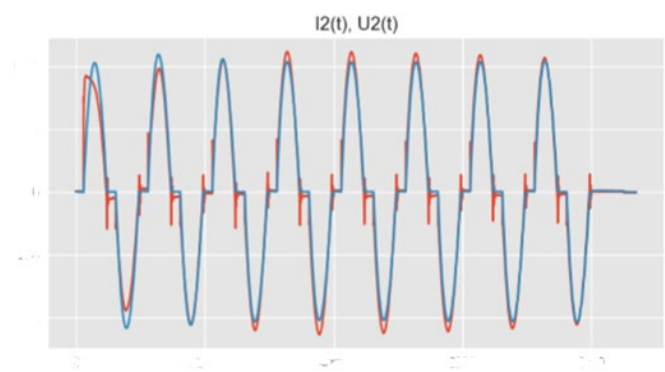


Рис. 4.28 – Осцилограма залежності струму й напруги від часу для 4-тої зварної точки

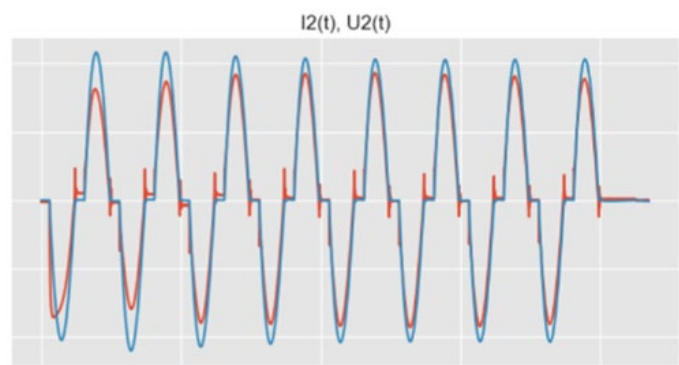


Рис. 4.29 – Осцилограма залежності струму й напруги від часу для 60-тої зварної точки

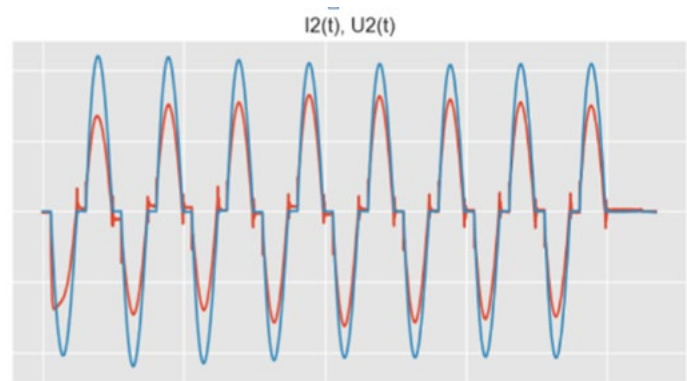


Рис. 4.30 – Осцилограма залежності струму й напруги від часу для зварної точки

100

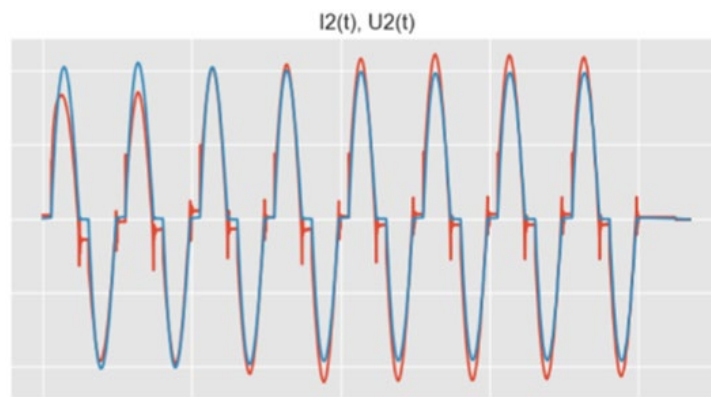


Рис. 4.31 – Осцилограма залежності струму й напруги від часу для зварної точки

160

При виконанні зварної точки 4 величина напруги на першому період зварювання трохи менша за значення струму, але на наступних періодах зварювальний струм залишається майже незмінним, а напруга збільшується. Початкове значення напруги, обумовлено наявністю контактних опорів, так як вони мають вплив лише на короткому проміжку часу на початку процесу.

При виконанні зварної точки 60 напруга є вже меншою в порівнянні з значенням напруги під час виконання точки 4. Струм залишається майже незмінним, а от напруга тепер збільшується повільніше ніж показано на (рис 3.29).

Осцилограма зварної точки 100 характеризується ще меншим максимальним початковим значення напруги та збільшується вона ще більш повільніше. Струм так й залишається майже без змін.

Зварна точка 160 має осцилограму подібну за значення ми до осцилограми точки 4, це може бути зумовлено забрудненням поверхні електродів. На рис. 4.26 видно що поверхня почорнішала (стала більш темною), що можливо зумовлено вмістом сажі.

Також відповідно були побудовані осцилограми залежності потужності від часу (значення струму й напруги були перемножені) по котрим також можна

зробити певні висновки. Дані осцилограми для точок 4, 60, 100, 160 показані на (рис. 4.32, 4.33, 4.34, 4.35). В Додатку Г приводяться дані осцилограми кожної двадцятої точки.

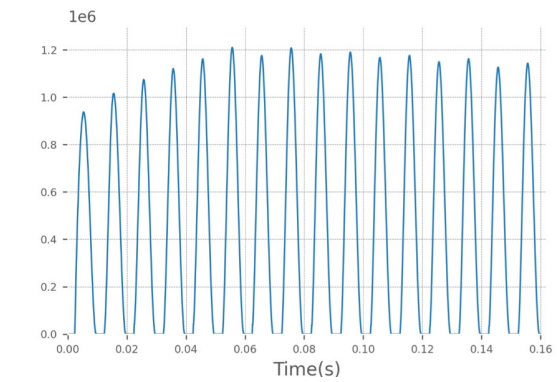


Рис. 4.32 – Осцилограма залежності потужності від часу для зварної точки 4

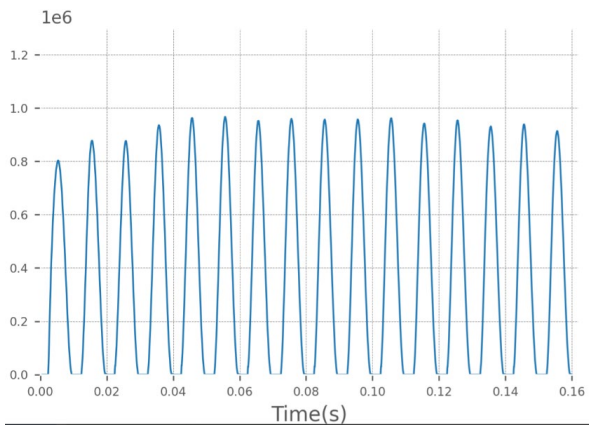


Рис. 4.33 – Осцилограма залежності потужності від часу для зварної точки 60

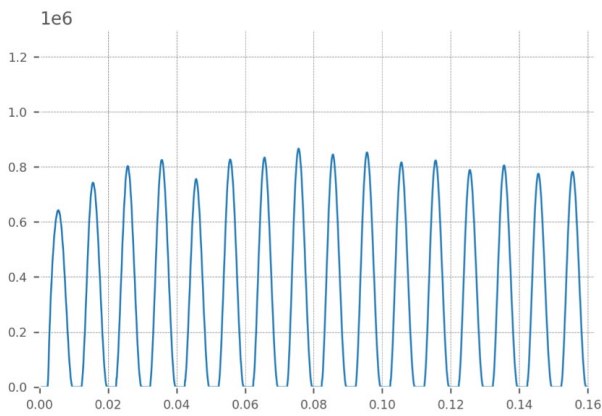


Рис. 4.34 – Осцилограма залежності потужності від часу для зварної точки 100

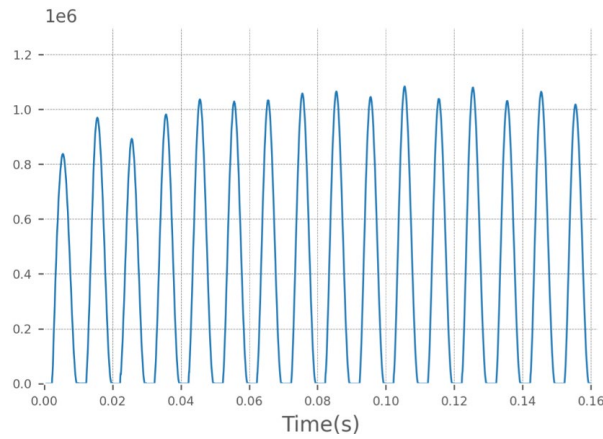


Рис. 4.35 – Осцилограма залежності потужності від часу для зварної точки 160

Осцилограма потужності від часу для точки 4 характеризується швидким зростанням і вже приблизно наприкінці другого періоду зварювання стабільним значенням потужності. Значення напруги зростає тому й значення потужності також.

Осцилограма для точки 60 має такий же характер, але початкові й максимальні значення напруги є меншими в порівнянні з точкою 4.

Під час зварювання точки 100 значення напруги ще більше зменшилось в порівнянні з точкою 60. Це обумовлено зниженням значення напруги, котра характеризує зниження контактних опорів.

Точка 160 подібна результатам точки 4, так як спочатку процеси відпуску міді і опір зменшується. Далі через певну кількість точок відбувається наклеп і твердість матеріалу збільшується і опір збільшується також. Саме цей процес наклепу й показаний на 160-тій зварній точці

Отже, осцилограми показують, що з кожним наступним виконанням зварної точки напруга зменшується і в свою чергу й потужність. Зниження напруги вказує на те, що контактні опори зменшуються, а це може відбуватись при збільшенні діаметра РБ електродів. Це означає, що дослідні електроди швидко зношуються, діаметр РБ збільшується, струм залишається незмінним, а отже густина струму зменшується. Густина струму зменшується внаслідок чого зменшується й кількість теплоти, що виділяється. Якщо кількість теплоти падає то формування

якісного зварного з'єднання без дефектів ставиться під сумнів. Показник стійкості даних електродів є надзвичайно низьким.

4.3. Порівняння дослідних електродів і електродів БрХ

Для порівняння був обраний контактний точковий електрод виготовлений зі сплаву БрХ (сплав основи дослідних електродів). Для порівняння будуть використані осцилограми залежності часу від напруги першого періоду зварювання. Осцилограми для точок 4, 60, 100, 160 зображені на (рис. 4.36, 4.37, 4.38, 4.39). В Додатку В зображені дані осцилограми для кожної двадцятої точки. Синьою кривою показані результати БрХ, оранжевою штриховою – дослідного матеріалу.

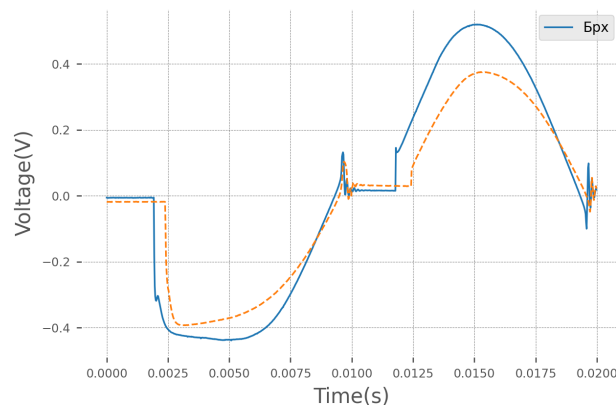


Рис. 4.36 – Осцилограми БрХ і дослідного матеріалу. Зварна точка 4

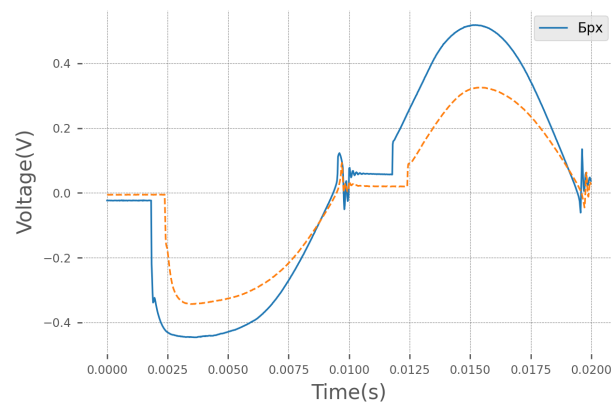


Рис. 4.37 – Осцилограми БрХ і дослідного матеріалу. Зварна точка 60

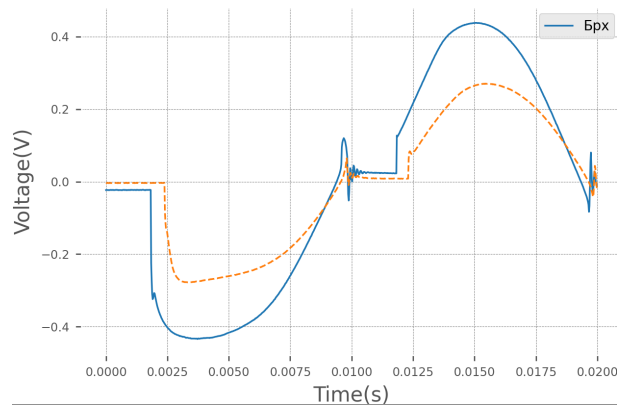


Рис. 4.38 – Осцилограми БрХ і дослідного матеріалу. Зварна точка 100

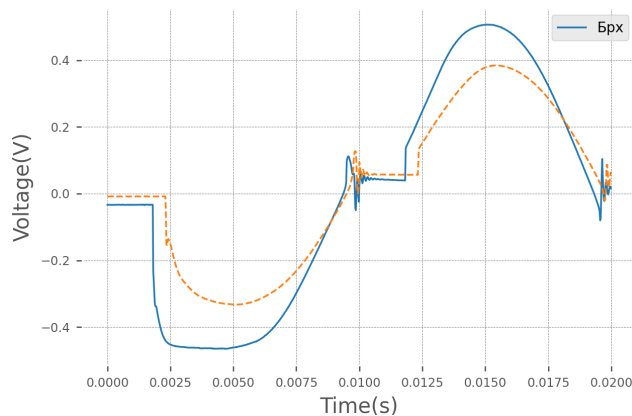


Рис. 4.39 - Осцилограми БрХ і дослідного матеріалу. Зварна точка 160

Порівнюючи осцилограми для зварних точок, звертають увагу на перший пів період, так як він показує зміну контактних опорів. Для зварної точки 4 помітно, що криві є подібними, хоча для дослідного матеріалу характерні нижчі значення напруги. Але все ж слід відмітити, що форма першого півперіоду БрХ, має більш плоску поверхню ніж форма півперіоду дослідного матеріалу.

При точці 60 форми кривих півперіодів для обох випадків стають більш заокругленими, що вказує на зменшення значення контактних опорів (висота півперіоду зменшилась).

При точці 100 криві стають ще більш заокругленими, й значення напруги для дослідного матеріалу зменшується ще більше.

Осцилограма зварної точки 160 показує, що перший півперіод дослідного матеріалу має майже таку саму форму що й другий півперіод, а отже контактні

опори знизились ще більше. Але в той же час значення напруги виросло вірогідно через забруднення поверхні.

Таким чином порівнюючи осцилограми БрХ і дослідного матеріалу, можна зробити висновок, що сплав БрХ є набагато стійкішим, ніж стійкість дослідного матеріалу. Це зумовлено тим, що при всіх чотирьох осцилограмах значення напруги БрХ майже не змінилось. Змінювалась лише заокругленість першого півперіоду, що вірогідно зумовлено певним рівнем забруднення.

4.4. Висновок до розділу 4

Як висновок до даного розділу можна сказати, що дослідний матеріал для РП електродів має дуже низький рівень стійкості, так як при виготовленні 100-тої зварної точки діаметр РП вже став більшим від початкового. Якщо процес зварювання продовжувався б і після виготовлення точки 160 то розмір РП збільшився б ще більше. При цьому всьому струм і зусилля стиску залишилися б незмінними. Це призвело б до дефектів (вибризування) і до відсутності якісного зварного з'єднання (точки).

За допомогою осцилограм було зроблено висновок, що значення напруги і потужності дослідних електродів стрімко знижуються. Це вказує на зниження контактних опорів, що викликано збільшенням площі РП електродів (чим більша площа тим менший опір і тим менша густина зварювального струму і тим менше виділяється необхідного тепла).

Зазвичай матеріал контактних електродів характеризується певним зниженням загального опору зварювання, але це відбувається на початку використання електродів (це зумовлено процесами відпуску міді). Цей період називається припрацюванням. Але потім опір знову збільшується, так як вже пройшли процеси наклепу і сплав став більш твердішим. Це етап сталого зношення під час якого опір повільно (відповідно до матеріалу) знову зменшується і відповідно й діаметр РП збільшується. Коли фактичний розмір РП стає занадто великим настає етап катастрофічного зношення, тобто електрод треба замінити або точити.

					ДП ЗС91.07.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат		62

Порівнюючи осцилограми БрХ і дослідного матеріалу помітно, що для сплаву електроду БрХ 160 зварних точок недостатньо, що оцінити його зносостійкість, так як для проходження етапу припрацювання необхідно виготовити хоча б 500 зварних точок. З осцилограм це помітно, так як значення напруги майже не змінюється. В той же час лише за 160 точок матеріал дослідного електроду встиг зноситись (напруга знижується, а отже знижується й загальний опір і збільшується розмір РП).

Отже, даний матеріал не підходить для виготовлення електродів для контактного точкового зварювання. В якості матриці для даного виробу краще буде використати сплави хромистої бронзи, так як чиста мідь має не підходящі фізичні й механічні властивості.

					ДП ЗС91.07.00.000ПЗ	Лист
						63
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат		

5. ВИСНОВОК

В даній дипломній роботі досліджено питання зносостійкості електродів для контактного точкового зварювання змінним струмом. Запропонований матеріал для виготовлення електродів (порошкова мідь з вмістом сажі) досліджувався на зносостійкість експериментальним шляхом зварювання.

Виконано теоретичний аналіз факторів, що впливають на зносостійкість електродів. Обрано машину для контактного точкового зварювання (МТ-1215) та обладнання для виміру параметрів струму та напруги (АЦП: Е 14-140). Розраховано основні параметри зварювання та конструктивні розміри зварного з'єднання. Обраний основний метод, котрим буде оцінюватись знос електродів, а саме метод зняття відбитків робочої поверхні електродів під час зварювання.

Проведено процес зварювання 160-ти зварних точок, та знято відбитки РП електродів через кожні 20 точок, на основі чого побудований графік залежності кількості зварних точок до збільшення площі РП. Також за допомогою АЦП побудовано осцилограми залежності зміни напруги, струму й потужності від часу. Виконано порівняння осцилограм дослідного матеріалу до електродного сплаву БрХ.

На основі отриманих даних робиться висновок, що наданий матеріал для виготовлення електродів для контактного зварювання не підходить. Виготовлений електрод досяг критичної межі зносу після виготовлення 100 зварних точок. Електроди з звичайного мідного сплаву зношуються після 2000 точок, після чого виконується переточка або заміна, електроди з БрХ – після 1000 точок (матеріал деталей: низьковуглецева сталь).

Отже, за результатами дослідів та порівняння з стандартними сплавами для точкових електродів з'ясовується, що порошкова мідь з вмістом сажі має надзвичайно низьку зносостійкість і не підходить для цих задач.

					ДП ЗС91.07.00.000ПЗ	Лист
						64
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат		

6. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

В даному розділі розглядаються витрати на виготовлення електродів, котрі використовуються в даній дипломній роботі. Для цього розраховується собівартість виготовлення даних електродів, щоб в результаті порівняти розраховану ціну з цінами стандартних електродів. Для розрахунку собівартості виготовлення електродів розраховуються витрати на матеріали, електроенергію, амортизацію (обладнання та приміщення) та витрати на оплату праці.

6.1. Витрати на матеріали

Дані електроди для контактного точкового зварювання виготовляються з пресованої порошкової міді. Ціну даного матеріалу можна оцінити за допомогою використання ціни чистої міді + 20%. 20% обґрунтовуються тим, що порошкова мідь дорожча за звичайну чисту мідь, а для виготовлення порошкової пресованої заготовки необхідні витрати, котрі оцінюються в ці самі 20%.

В даній роботі вважається, що електроди повністю виготовлені з дослідного матеріалу (для проведення даного дослідження необхідно було виготовити електроди повністю з дослідного матеріалу, але так як його було недостатньо, то була виготовлена лише РБ електродів).

Для оцінки ціни матеріалу використовується ціна мідних прутків круглого перерізу відповідно до ГОСТ 1535-2006 [11].

					ДП ЗС91.07.00.000ПЗ				
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					
Розробив	Павленко О.				Дослідження стійкості електродів для контактного точкового зварювання змінним струмом Дипломний проект	Лім.	Лист	Листів	
Перевірів	Глушенко Я.						65	87	
						КПІ ім. І. Сікорського НН ІМЗ ім. Є.О. Патона			
Н. Контр.	Лисак В.								
Затв.	Квасницький В.								



Рис. 6.40 – Мідні прутки М2

Кілограм мідного прутка М2 коштує 595 грн [33]. Виготовлені електроди важать 88 грам, а отже 1 електрод – 44 г (рис. 6.41).



Рис. 6.41 – Вага виготовленого електроду

Ціна того самого матеріалу враховуючи що мідь повинна бути порошковою (+20% до ціни міді):

$$595 + (595 * 0,2) = 714 \text{ грн/кг}$$

Витрати матеріалу на одиницю продукції:

$$C_m = 0,044 * 714 = 31,416 \text{ грн}$$

Покупні комплектуючі і т.д. відсутні.

Транспортно-заготівельні витрати становлять 7% відповідно від вартості матеріалів:

$$C_{тр} = 31,416 * 0,07 = 2,19912 \text{ грн}$$

6.2. Витрати на оплату праці

Роботи по виготовленню електродів виконуються токарем, а отже середня тарифна ставка використовується токаря. Отже, приводяться відповідні дані:

					ДП ЗС91.07.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат		66

- Середня тарифна ставка токаря – 125 грн/год;
- Трудомісткість виготовлення електроду – 2 норм/год;
- Додаткова заробітна плата – 30% від основної заробітної плати;
- ЄСВ – 22% від основної та додаткової заробітної плати робітника;

Основна заробітна плата:

$$C_{o.z.} = 2 * 125 = 250 \text{ грн}$$

Додаткова заробітна плата:

$$C_{з.д.} = \left(\frac{30}{100}\right) * 250 = 75 \text{ грн}$$

Відрахування на ЄСВ:

$$C_{есв} = \left(\frac{22}{100}\right) * (250 + 75) = 71,5 \text{ грн}$$

6.3. Витрати на електроенергію

Середні витрати електроенергії на виготовлення даного електроду складають 5,0...6,0 кВт*год. Відповідно ціна, котра оплачується за кВт/год електроенергії зараз складає 2,64 грн/кВт*год (відповідно до постанови Кабміну з 01.06.2023 р. встановлено єдину ціну на електроенергію для всіх жителів України – 2,64 грн/кВт*год на весь обсяг споживання).

Отже, при потужності 5 кВт/год, трудомісткості 2 норм/год і ціні на електроенергію 2,64 грн/кВт*год отримуємо:

$$C_{елек} = 5 * 2 * 2,64 = 26,4 \text{ грн}$$

6.4. Витрати на амортизацію

Амортизаційні відрахування по устаткуванню визначаються за формулою (6.16):

$$C_{амор} = (B_6 * H_a * T_k) / (\Phi_d * K_v * 100) \quad (6.16)$$

B_6 – балансова вартість устаткування, грн. (фрезерний станок на котрому проводилась технологічна операція виготовлення електроду коштує близько 8000

					ДП ЗС91.07.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат		67

доларів, а отже 294880 грн (за теперішнім курсом валют), і плюс враховується коефіцієнт транспортно-монтажних робіт 1,1;

$$B_6 = 294880 * 1,1 = 324368 \text{ грн}$$

H_a – норма річних амортизаційних відрахувань (для даного випадку 15 %); T_k – норм часу на виготовлення електроду (2 норм/год); Φ_d – дійсний річний фонд часу роботи устаткування:

$$\Phi_d = 257 * 1 * 8 * 0,93 = 1912,08 \text{ год}$$

257 – кількість робочих днів на рік; 1 – кількість робочих змін на день; 8 – тривалість зміни; 0,93 – коефіцієнт, що враховує планові простої устаткування;

K_B – коефіцієнт використання устаткування (для даного випадку 0,7)

$$C_{\text{амор}} = \frac{324368 * 15 * 2}{1912,08 * 0,7 * 100} = 72,7 \text{ грн}$$

Витрати на поточний ремонт та технічне обслуговування устаткування визначається за формулою:

$$C_p = \frac{324368 * 0,05 * 2}{0,7 * 1912,08} = 24,23 \text{ грн}$$

Витрати, пов'язані з утриманням та амортизацією площі будівлі, котру займає устаткування розраховується за формулою:

$$C_{\text{буд}} = (F_i * K_f * Y_f * T_k) / (K_B * \Phi_d)$$

F_i – площа будівлі, яку займає устаткування (в даному випадку 23 корпус КПП має площу приблизно 1500 м², а площа яку займає обладнання 6 м²); K_f – коефіцієнт, що враховує додаткову площу (в даній роботі 4); Y_f – річні витрати на утримання 1 м² площі будівлі, грн. (в даній роботі 52 грн.).

$$C_{\text{буд}} = \frac{(6 * 4 * 52 * 2)}{0,7 * 1912,08} = 1,86 \text{ грн}$$

6.5. Висновок до розділу 6

Відповідно до розрахунку собівартості виготовлення експериментальних електродів отримано суму:

					ДП ЗС91.07.00.000ПЗ	Лист
						68
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат		

$$\begin{aligned}
C &= C_{\text{м}} + C_{\text{тр}} + C_{\text{о.з.}} + C_{\text{з.д.}} + C_{\text{есв}} + C_{\text{елек}} + C_{\text{амор}} + C_{\text{р}} + C_{\text{буд}} \\
&= 31,416 + 2,19912 + 250 + 75 + 71,5 + 26,4 + 72,7 + 24,23 + 1,86 \\
&= 555,305512 \text{ грн}
\end{aligned}$$

Сума була одержана враховуючи фактори витрат матеріалу, електроенергії, оплати праці, амортизації споруди на устаткування та інше.

У порівняння до даної ціни електрода приводяться ціни стандартних електродів, котрі використовуються в контактному точковому зварюванні, а саме електроди: БрХ1 [27], МТ-603 [32], GYS 049567 [26]. Порівняльні дані зображено на табл. 6.9.

Таблиця 6.9. – Порівняльна таблиця цін

Найменування контактного точкового електроду	Ціна, грн.
Дослідний електрод	555,3
БрХ1	450
МТ-603	450
GY S 049567	287

Отже, з табл. 6.9. помітно, що дослідний електрод є дорожчим для виготовлення. Якщо ще й врахувати те, що даний дослідний електрод має дуже низькі показники в плані зносостійкості, то робиться висновок: виготовлення електродів для контактного точкового зварювання з порошкової пресованої міді є недоцільним в техніко-економічному плані.

7. ОХОРОНА ПРАЦІ

В даному розділі охорони праці розглядаються питання: аналізу шкідливих і небезпечних виробничих факторів при контактному точковому зварюванні, нормативних вимог безпеки та гігієни праці, інженерних рішень для забезпечення безпеки праці та пожежної безпеки.

Так як дослідження проводилось на машині контактного точкового зварювання МТ-1215 (рис. 7.42) то й метою даного розділу є розробка заходів безпеки на цій машині та при даному методі зварювання.



Рис. 7.42 – Машина точкового зварювання МТ-1215

7.1. Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів (ШНВФ)

ШНВФ є фізичними, хімічними, біологічними, соціальними та психофізіологічними. Розрізняють їх за походженням і природою дію на людину.

					ДП ЗС91.07.00.000ПЗ								
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Дослідження стійкості електродів для контактного точкового зварювання змінним струмом Дипломний проект				Лім.	Лист	Листів		
Розробив	Павленко О.										70	87	
Перевірів	Левченко О.								КПІ ім. І. Сікорського НН ІМЗ ім. Є.О. Патона				
Н. Контр.	Лисак В.												
Затв.	Квасницький В.												

З джерела [31] випливає, що під час технологічного процесу контактного точкового зварювання є наступні шкідливі фактори:

- Інтенсивні: враження електричним струмом; механізми і вироби, котрі рухаються.
- Помірні: видиме та інфрачервоне випромінювання; електромагнітні та магнітні поля; шум; статичне навантаження на руку; іскри, бризки й викиди розплавленого металу; системи, що знаходяться під тиском не рівним атмосферному.
- Незначні та відсутні: ультрафіолетове й іонізуюче випромінювання; ультразвук.

Отже, відповідно, фізичними факторами є: фактори, котрі викликають небезпеку механічного травмування, опіків від розбризування металу; віброакустичні фактори такі як шум; електричні (статична електрика, підвищені значення напруги, замикання ланцюга через людське тіло); ультрафіолетове (УФ); світлові (погане освітлення або підвищена яскравість); пил фіброгенної дії (ті що не розчиняються у біологічних рідинах).

Хімічними факторами є шкідливі хімічні речовини (ШР) у будь-якому агрегатному стані, що здатні потрапити в організм людини і розчинитись у біологічних рідинах.

До психофізіологічних факторів відносяться фізичні перевантаження (статичні й динамічні) й нервово-психічні (розумові й емоційні).

В умовах зварювального виробництва біологічні фактори майже не зустрічаються, а отже й не розглядаються.

Соціальні фактори: неякісна організація роботи, понаднормова робота, соціальна ізоляваність, зміна біоритмів та інше.

7.2. Нормативні вимоги безпеки та гігієни праці

Отже, відповідно до вимог контактного точкового зварювання робота виконується відповідно до стандартів: ДНАОП 0.00-1.21-98 “Правила безпечної

					ДП ЗС91.07.00.000ПЗ	Лист
						71
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат		

експлуатації електроустановок споживачів” [17] та ДНАОП 0.00-1.32-01 “Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок” [18].

Відповідно до стандарту ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007. [25] встановлюється, що рівень небезпечних і шкідливих речовин у повітрі робочої зони не перевищують гранично допустимих концентрацій (ГДК).

7.2.1. Рівень шуму

Рівень шуму й звукового тиску на робочому місці під контактного зварювання наведена в табл. 7.10. відповідно до ДСН 3.3.6.037-99 [19]. Відповідно до дипломного проекту, де використовується машина для контактного точкового зварювання МТ-1215, ця табл. 4.9. допомагає оцінити рівень шуму

Таблиця 7.10. – Рівень допустимого звукового тиску й шуму на робочому місці під час контактного зварювання

Рівні звукового тиску в дБ в октавних голосах з середньо герметичними частотами, Гц									Рівень звуку в дБ (А)
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	80
107	95	87	82	78	75	73	71	69	

Так як значення рівня шуму й звукового тиску є більшим за значення встановлено нормативом, то використовується захист відповідно до [19], де вказується, що захист досягається за допомогою застосування:

- Засобів індивідуального захисту по ДСТУ EN 352-6:2005 [23];
- Будівельно-акустичних методів;
- Використання методів колективного захисту відповідно до ДСН 3.3.6.037-99 [19];

Акустичні, архітектурно-планувальні і організаційно-технічні способи використовуються для колективного захисту. Для будівельно-акустичних способів зменшення рівня шуму в цеху використовують пристрої кожухів та екрани. Шум знижують методом облицювання стін й стелі матеріалами, що здатні поглинати звук. Також для зменшення рівня шуму рекомендується розміщувати

устаткування з меншою щільністю (чим більша відстань між установками тим краще, рекомендовано не менше 1,5 м між установками) і як наслідок це дає можливість використовувати екрани. Використовуючи матеріали для звукоізоляції показник шуму зменшується на 30...40 дБ.

7.2.2. Підвищена напруга в електричному колі

При використанні електроустановок напругою до 1000 В стається найбільша кількість випадків травмування, а іноді стаються навіть смертельні випадки. До основних причин електротравмування належать [31]:

- Використання несправних ручних електроінструментів;
- Застосування нестандартних або несправних переносних світильників напругою 220 чи 127 В;
- Випадкове доторкання до неізольованих струмопровідних частин установок;
- Робота без надійних захисних засобів;
- Доторкання до незаземлених корпусів електроустановок, котрі опинились під напругою внаслідок пошкодженої ізоляції;
- Недотримання правил експлуатації та правил техніки безпеки використання електроустановок та інше.

Електричні опіки, механічні ушкодження, електричні удари та клінічна смерть є наслідками контактування людини зі струмопровідними незахищеними частинами електроустановок.

ДСТУ 12.1.038:2008 [24] регламентує гранично допустимі значення напруги та сили струму для нормального та аварійного режимів електроустановок при проходженні струму через тіло людини (табл. 7.11, 7.12.).

					ДП ЗС91.07.00.000ПЗ	Лист
						73
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат		

Таблиця 7.11. – Граничнодопустимі значення напруги доторкання U_d та сили струму I_d , котрі проходять через тіло людини

Вид струму	U_d , В (не більше)	I_d , мА (не більше)
Змінний, 50 Гц	2	0,3

Аварійний режим електроустановок – це режим при якому установка має певні пошкодження, що можуть призвести до небезпечних ситуацій.

Таблиця 7.12. – Граничнодопустимі значення напруги доторкання U_d та сили струму I_d , котрі проходять через тіло людини в аварійному режимі

Вид струму	Нормоване значення	Тривалість дії струму t , с					
		0,1	0,2	0,5	0,7	1,0	Більше 1,0
Змінний, 50 Гц	U_d , В (не більше)	500	250	100	70	50	36
	I_d , мА (не більше)	500	250	100	70	50	6

7.2.3. Електромагнітні випромінювання

Так як напруга під час виконання процесу контактного точкового зварювання не перевищує 600 В то електричною частиною поля, котре формується навколо джерела живлення, можна знехтувати. Так як у вторинному контурі машини протікають великі значення струму то виникають потужні магнітні поля.

Магнітні поля впливають на нервову і серцево-судинну системи. Як наслідок це призводить до зниження частоти серцевих скорочень, систолічного тиску, підвищеного тону судин, збільшення швидкості кровотоку і розширенню артерій, гістологічним змінам у печінці, легенях, нирках і підшлунковій залозі. Вплив магнітного поля промислової й інших частот на організм людини вищий ніж постійного магнітного поля. Нормування магнітних полів виконується

відповідно до ДСН 3.3.6.096-2002 [20]. Рівень напруженості магнітного поля (частота 50 Гц) не має бути вищим за значення 1,4 кА/м протягом 8 годин.

Якщо людина перебуває в магнітному полі значення котрого вище за 1,4 кА/м, то дозволений час перебування в цьому полі зменшується (табл. 7.13).

Таблиця 7.13. – Допустимий час перебування людини в магнітному полі

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

Щоб визначити значення електромагнітних полів проводяться виміри на відстані 0,5...1,5 від установки. Визначивши значення електромагнітних полів, визначаються ступені впливу полів на персону та відстань на котрій необхідно встановлювати пульт керування, щоб зменшити шкідливий вплив на персонал.

Якщо значення виміряних полів робочого місця є вищими за допустимі, то дотримуються захисних заходів. До методів захисту належать: захист часом, відстанню, екрануванням струмопровідних шин, вибір оптимальних режимів зварювання.

Розрахунок значення магнітного поля виконується відповідно до формули (7.17):

$$H = \frac{I * L}{4 * \pi * r^2} \quad (7.17)$$

I – найбільше значення вторинного струму, кА;

L – сумарна довжина електродів, м;

r – відстань, на котрій проводять вимірювання, м.

$$H = \frac{I * L}{4 * \pi * r^2} = \frac{8 * 0,12}{4 * 3,14 * 0,5^2} = 0,3 \text{ кА/м}$$

Отже, за результатами розрахунку немає необхідності використовувати засоби захисту від магнітних полів. Але все ж використовують засоби індивідуального

захисту, щоб мінімізувати вплив, а саме: захисні окуляри, щитки, шоломи, захисний одяг (комбінезони, халати з металовмісної тканини) [31].

Обладнання, котре використане в даній дипломній роботі, для контактного точкового зварювання відповідає вимогам ДНАОП 0.00-1.21-98 [17].

Використання захисних методів від магнітних полів не є необхідним, так як значення магнітного поля є допустимим.

7.3. Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці

Так як проводячи досліди на машині контактного точкового зварювання змінним струмом МТ-1215 були дотримані всі умови безпечної роботи то й небезпеці шкідливих факторів ніхто підданим не був.

Для дотримання безпеки праці були ізольовані всі струмопровідні кабелі та перевірені всі електричні контакти.

При експлуатації машини були дотримані вимоги “Правил технічної експлуатації електроустановок споживачами” [17].

Шини заземлення, заземляючі дроти й інші елементи, котрі заземлялись перевірялись щоденно. Особливо увага приділялась у випадках виконання ремонтних або налагоджуючи робіт. Оператору заборонено виконувати будь-яку роботу налагодження.

Технологічні операції такі як ремонт і обслуговування виконуються при вимкненому автоматі і з відключеною подачею стиснутого повітря та води. При цьому всьому напруга на затискачах залишається навіть при таких умовах, тому на це необхідно звертати увагу.

Зубчасті шайби, котрі використовуються для заземлення щитків шафи, після робіт встановлюють на місце.

Лише якщо мережевий вимикач в вимкненому положенні машина вважається вимкненою. Якщо сигнальна лампа залишається горіти, то це вказує на наявність напруги, а отже машина не є вимкненою.

Персонал, котрий допускається до роботи на даній машині для контактного зварювання забезпечується засобами індивідуального захисту відповідно до

					ДП ЗС91.07.00.000ПЗ	Лист
						76
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат		

ДСТУ EN 169-2001 [22] що регламентує захист від бризок розплавленого металу (спецодяг та взуття). Захист рук забезпечується відповідно за ДСТУ 7239:2011 [8]. Клас машини за способом захисту людини від враження електричним струмом складає – 01.

7.4. Пожежна безпека

За НАПБ Б.03.002-2007 [35] приміщення в котрих виконується зварювальні роботи відповідають вимогам вибухопожежної небезпеки категорії Г (негорючі речовини й матеріали у гарячому, розжареному, розплавленому станах, процеси обробки яких супроводжуються виділенням променистої теплоти, іскор та полум'я; горючі гази, рідини, тверді речовини). Відповідно до ДНАОП 0.00-1.21-98 [17] та ДНАОП 0.00-1.32-01 [18] у приміщенні виділяється зона II-Па, де можуть обертатись горючі речовини. Категорія за БЕМЗ – ПА ($> 0,9$ мм). Група вибухонебезпеки складає – ТІ (ТС) В $> 450^{\circ}\text{C}$. Ступінь вогнестійкості будівлі – І, мінімально допустиме обмеження вогнестійкості – 2,5 годин, максимально допустиме обмеження поширення вогню для стін – 25 см.

Відповідно до ДСТУ 8828:2019 [4] пожежна безпека забезпечується за допомогою: застосуванню пожежної сигналізації з датчиками; використанню вогнегасників для класу пожеж Е типу УО, ОП-10А; запобіганню виникнення горючого середовища за рахунок герметизації; запобіганню спалаху ізоляції при коротких замиканнях.

Відповідно до ДСТУ 8828:2019 [3] дотримуються вимог електроіскробезпеки.

В обов'язковому порядку приміщення оснащується необхідними засобами колективного й персонального захисту людей від небезпечних факторів пожежі та засобів проти диму. На ділянках виробничого процесу передбачається наявність протипожежних щитків з вогнегасниками, ломами, відрами, сокирами. Біля щитків передбачається наявність ящиків з піском. Для гасіння пожеж також використовуються азбестові покривала, котрі повинні бути в наявності.

					ДП ЗС91.07.00.000ПЗ	Лист
						77
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат		

7.5. Висновки до розділу 7

Відповідно до розділу охорони праці диплому, котрий був описаний вище, зроблено висновки – технологічний процес контактного точкового зварювання на машині МТ-1215 для дослідження зносостійкості електродів проведений з дотриманням усіх вимог безпеки.

Персонал оснащений всіма необхідними засобами індивідуального захисту. Всім струмопровідні елементи перевірені на електричні контакти. Всі необхідні елементи для забезпечення пожежної безпеки наявні. Виконано аналіз шкідливих та небезпечних факторів, котрі могли б негативно вплинути на організм людини. Нормативні вимоги безпеки та гігієни дотримано відповідно до стандартів.

					ДП ЗС91.07.00.000ПЗ	Лист
						78
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Банов М. Д. Технология и оборудование контактной сварки : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / - 3-е изд., стер. – М. : Издательский центр «Академия», 2008. – 224 с.
2. Бусыгин С. Л., Токмин А. М., Богданов В. В., Готовко С. А. Способ изготовления электродом контактной сварки совмещенным способом литья и штамповки. Вестник СибГАУ Т. 16, №3. с. 714-719.
3. ДСТУ 7239:2011. «Пожежна безпека. Загальні положення».
4. ДСТУ 7239:2011 «Національний стандарт України. Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікації».
5. ГОСТ 14111-69 «Выбор сплава для электродов точечных машин для сварки низкоуглеродистых сталей».
6. ГОСТ 14111-90 «Электроды прямые для контактной точечной сварки. Типы и размеры».
7. ГОСТ 1535-2006. «Прутки медные. Технические условия».
8. ГОСТ 15878-70 «Конструктивные элементы сварных соединений, выполняемых контактной точечной сваркой, их размеры и предельные отклонения».
9. ГОСТ 23677-79 «Твердомеры для металлов. Общие технические требования».
10. ГОСТ 297-73 «Машины электросварочные контактные. Общие технические требования».
11. Гуляев А. И. Технология и оборудование контактной сварки. – М.: Машиностроение, 1985. – 253 с.
12. Давиденко О. А., Завдовсєв А. В. Використання пластичної деформації для підвищення механічних властивостей електродів контактних машин. Автоматичне зварювання, №10, 202. с. 49-53.

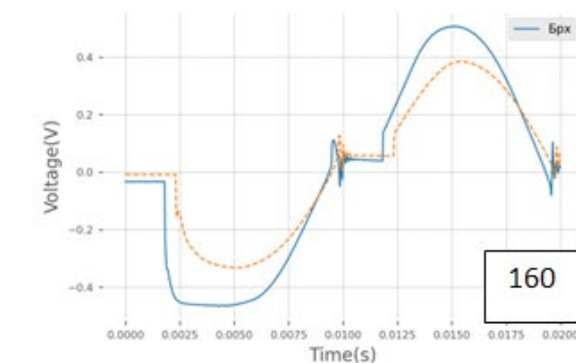
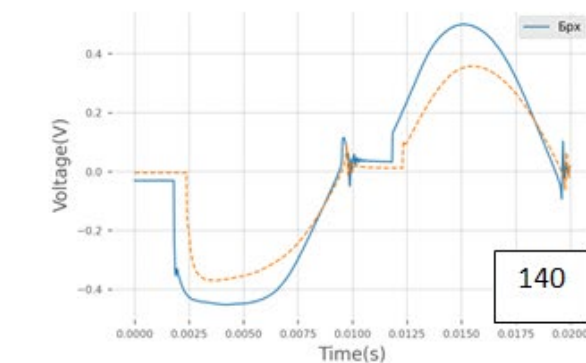
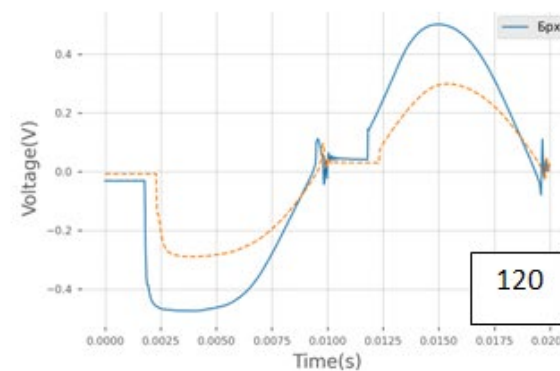
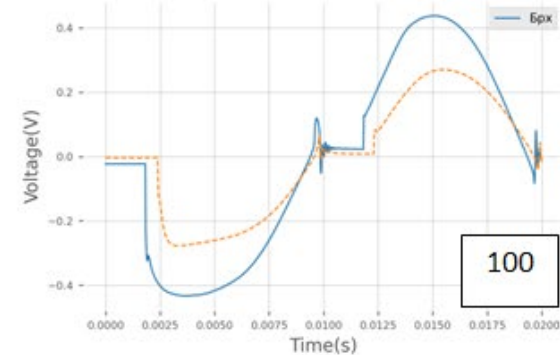
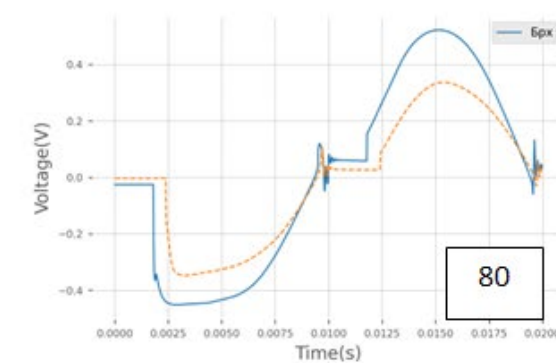
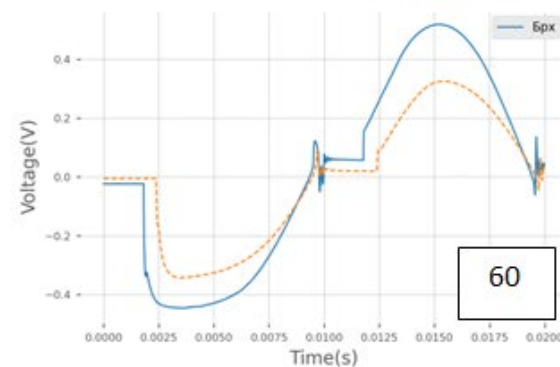
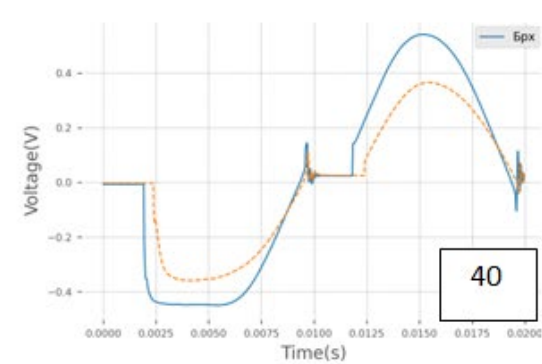
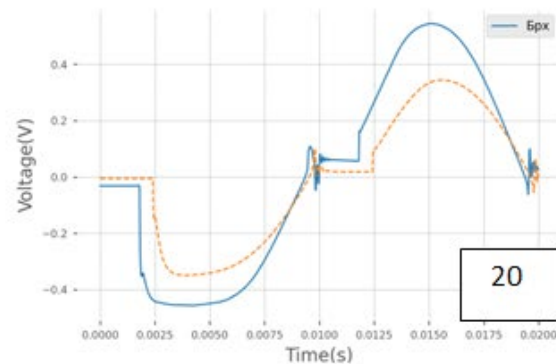
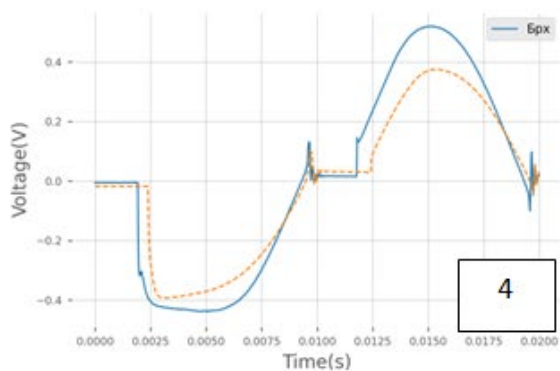
					ДП ЗС91.07.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат		79

13. ДНАОП 0.00-1.21-98. «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачем».
14. ДНАОП 0.00-1.32-01. «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок».
15. ДСН 3.3.6.037-99. «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».
16. ДСН 3.3.6.096-2002. «Державні санітарні норми та правила при роботі з джерелами електромагнітних полів».
17. ДСТУ 2651:2005. «Сталь вуглецева звичайної якості. Марки (ГОСТ 380-2005)».
18. ДСТУ EN 169-2001. «Засоби індивідуального захисту очей та обличчя під час зварювальних та споріднених процесів»
19. ДСТУ EN 352-6:2005. «Засоби індивідуального захисту органів слуху. Вимоги безпеки і випробування. Частина 6. Навушники протишумові з електричним звуковим входним отвором».
20. ДСТУ ГОСТ 12.1.038:2008. «Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Гранично допустимі значення напруг дотику і струмів».
21. ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007. «Система стандартів безпеки праці. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використанні в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва»
22. Електрод для точкового нагріву GYS 049567//[Електронний ресурс]/ Borma.com.ua. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://borma.com.ua/elektrod-dlya-tochechnogo-nagreva-gys-049567>
23. Електрод контактний БрХ 16/70//[Електронний ресурс]/ Метролог Пром. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://metrologprom.com.ua/uk/p/1323120307-elektrody-kontaktnoy-svarki-brh-gost-14111-90/>

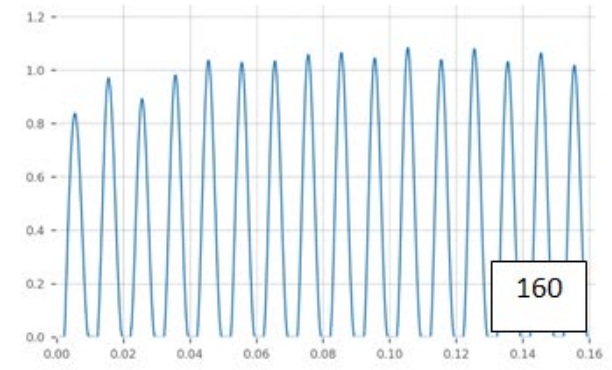
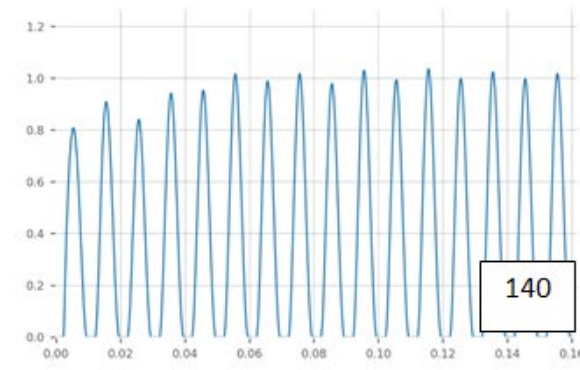
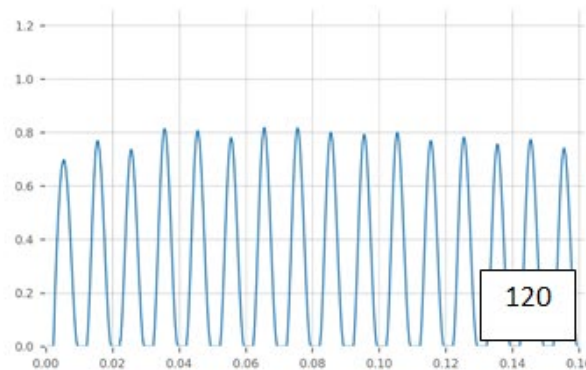
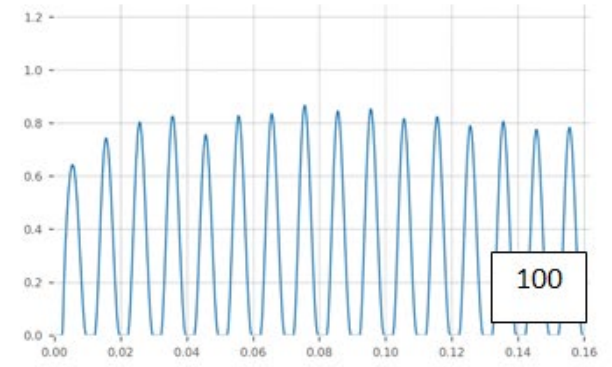
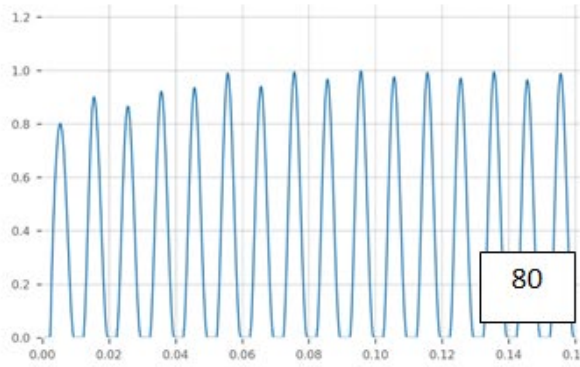
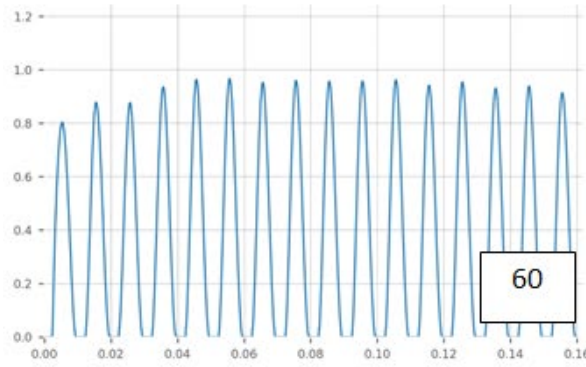
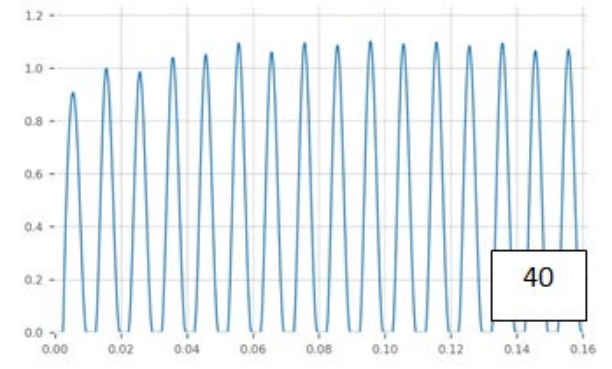
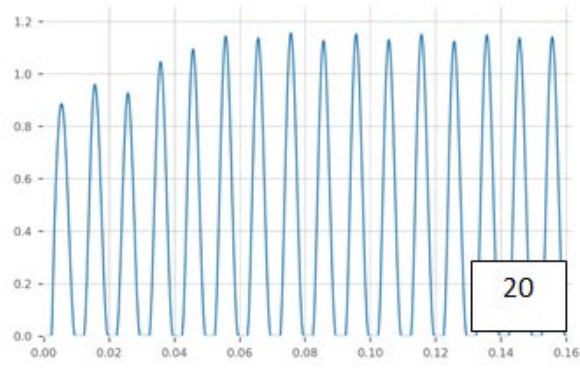
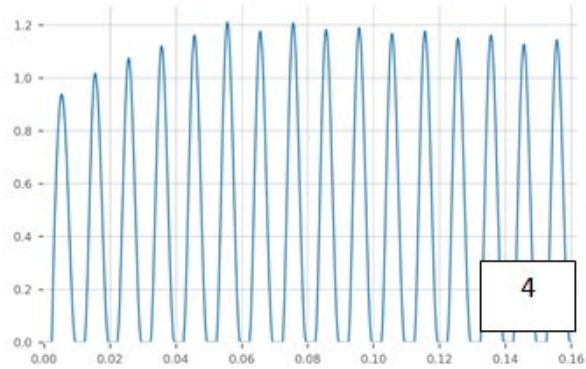
24. Иванова I. I., Крилова Н. А., Євлаш С. I. Дисперснотвердеючі порошкові бронзи для електродів контактної зварки. Інститут проблем матеріалознавства ім. I. Н. Францевича НАН. 2014. с. 97 – 101
25. Катаев Р. Ф., Милютин В. С., Близник М. Г. Теория и технология контактной сварки: учебное пособие / — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015. — 144 с.
26. Лебедев В. К., Кучук-Яценко С. И., Четвертко и др.; Машиностроение. Энциклопедия / Ред. совет: К. В. Фролов (пред.) и др. М.: Машиностроение. Оборудование для сварки. Т. IV-6/ Под ред. Б. Е. Патона. 1999. – 496 с.
27. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві: Навчальний посібник. К.: Основа, 2010. 240 с.
28. Мідний електрод для контактної зварювання МТ-603//[Електронний ресурс]/ Prom.ua. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://prom.ua/ua/p728179262-mednyj-elektrod-dlya.html>
29. Мідні прутки М2 д.20,0мм//[Електронний ресурс]/ СК Инжиниринг. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://stkengineering.com.ua/ua/p1115388769-mednyj-prutok-krug.html>
30. Молчанов В. Ф., Музичка Д. Г., Часов Д. П. Методичні вказівки до лабораторної роботи №2 «Визначення твердості металів» з дисципліни «Технологія конструкційних матеріалів» освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» за напрямком 6.050502 «Інженерна механіка», 6.050503 «Машинобудування» та 6.070106 «Автомобільний транспорт» денної і заочної форм навчання. / - Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2014р. – 18 с.
31. НАПБ Б.03.002-2007. «Визначення категорії приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпечністю».
32. Орлов Д. В., Чакалев А. А. Дмитриев Ю. В. и др. Технология и оборудование контактной сварки: Учебник для машиностроительных вузов; Под общ. ред. Б. Д. Орлова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 352 с.

					ДП ЗС91.07.00.000ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат		81

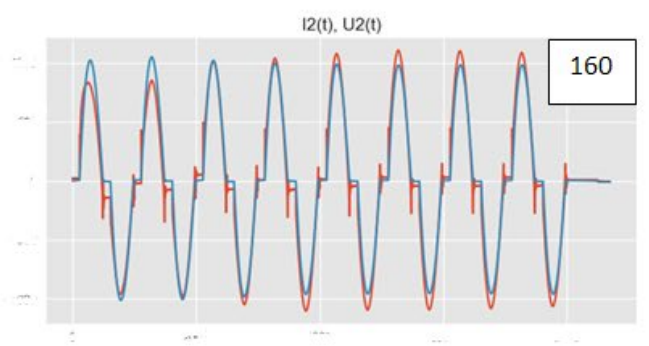
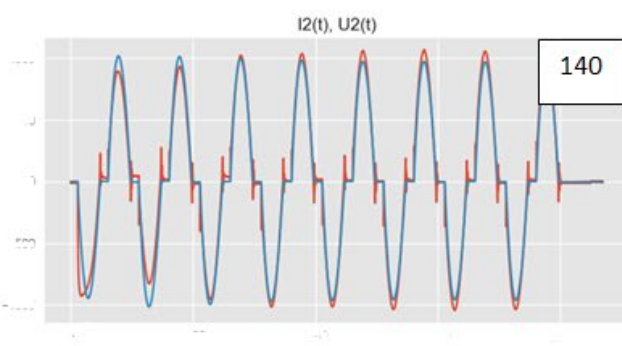
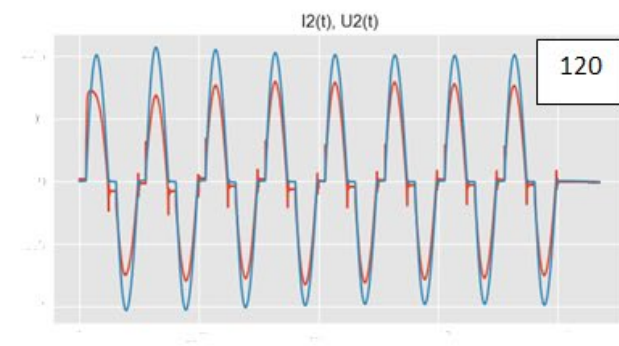
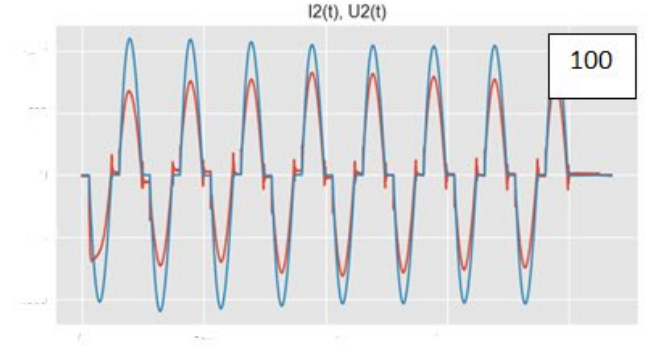
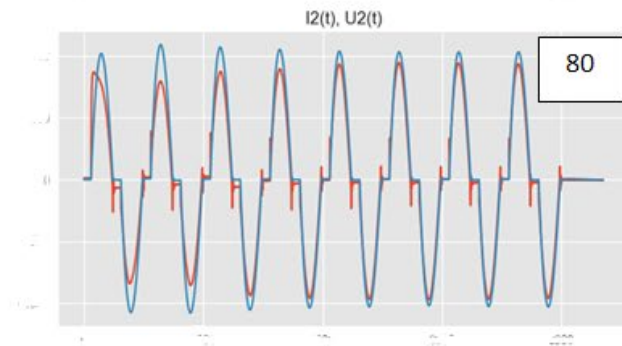
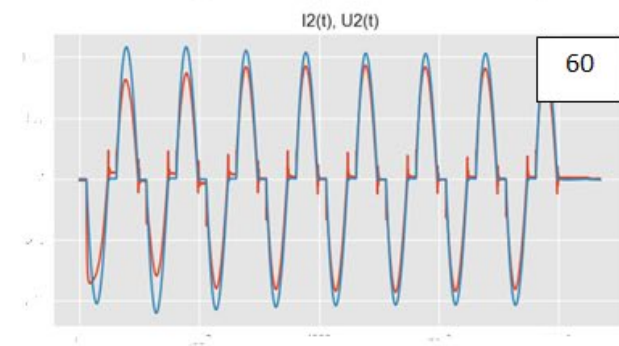
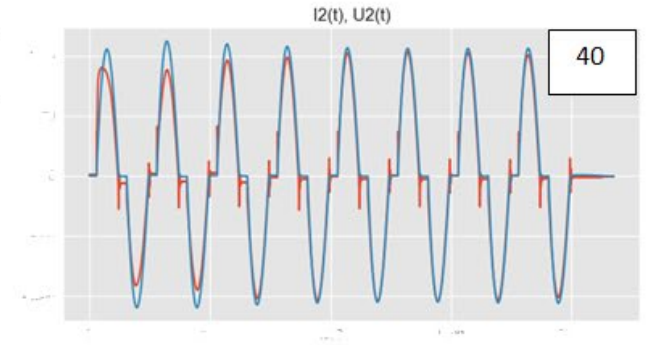
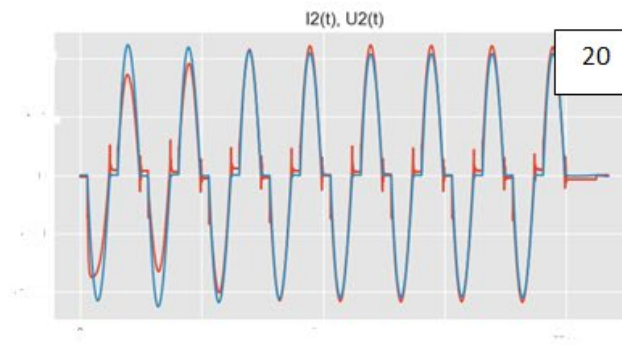
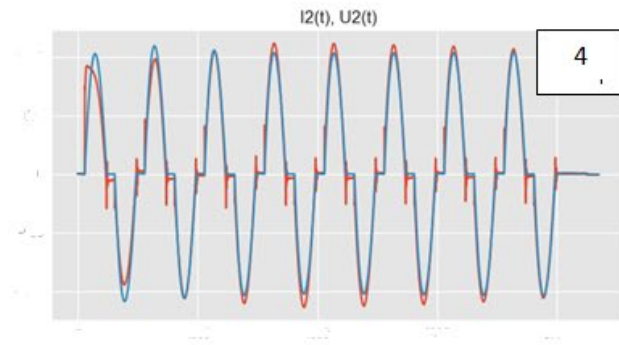
33. Пахаренко В. А. Зварювання тиском. - Електронний підручник, 2013. - 320 с.
34. Пьянков И. Б., Ерофеев В. А., Страхова Е. А. Критерии оценки русловый эксплуатации электродов при контактной точечной сварке. Известия ТулГУ. Технические науки. 2016. Вып. 11. Ч. 2.
35. Сливінський О. А. Здатність до зварювання конструкційних матеріалів: Метод. вказ. до викон. курсової роботи з дисц. для студ. напрямку 050504 «Зварювання»/ Уклад.: О.А.Сливінський, Н.М. – К.:НТУУ «КПІ», 2012. – 50 с.
36. Сливінський О. А. Здатність до зварювання конструкційних матеріалів: Навч. Посібник. – К.:НТУУ «КПІ», 2010. – 260 с.
37. Слиозберг С. К., Чулошников П. Л., Л., Электроды для контактной сварки «Машиностроение». 1972. – 96 с.
38. Фролова А. В. Исследование структуры электродов контактной сварки полученных методом горячей штамповки из меди и медных сплавов с заданными комплексом свойств. с. 3 – 11.
39. Чвертко Є. П. Технологія та устаткування зварювання тиском: Методичні вказівки до практичних занять для студентів денної, денної прискореної, заочної форми навчання спеціальності 131 «Прикладна механіка». 2017. – 72 с.
40. Чуларис А. А., Рогозин Д. В. Технология сварки давлением. – Ростов н/Д : Феникс, 2006. – 221, с.
41. Чулошников П. Л. Контактная сварка. В помощь рабочему-сварщику. М., «Машиностроение». 1977. – 144 с.
42. Шалунов Е. П., Смирнов В. М. Нанокмпозиционные материалы на основе порошковой меди для электродов точечной контактной сварки оцинкованных сталей. «Диском Групп». 2016. с. 3 – 12.

ОСЦИЛОГРАМИ ТОЧКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ДЛЯ ДОСЛІДНОГО ЕЛЕКТРОДУ І БрХ $U_2(t)$ 

ОСЦИЛОГРАМИ ТОЧКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ $P_2(t)$



ОСЦИЛОГРАМИ ТОЧКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ $I_2(t), U_2(t)$



ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	2	
2	A4		Пояснювальна записка		
3	A1		Контактне точкове зварювання	1	
4	A1		Методика дослідження стійкості електродів	1	
5	A1	ДП ЗС91.07.01.000		1	
6	A1	ДП ЗС91.07.02.000		1	
7	A1		Результати досліджень	2	

				ДП ЗС91.07.000.00		
	ПІБ	Підп	Дата	Відомість дипломного проекту	Арк.	Аркушів
Розробив	Павленко О.В.				1	86
Керівник	Скачков І.О.				КПІ ім. І. Сікорського НН ІМЗ ім. Є.О. Патона	
Консультант						
Нормоконтроль	Лисак В.В.					
Зав.каф.	Квасницький В.В.					

					ДП ЗС91.07.00.000ПЗ					
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Дослідження стійкості електродів для контактного точкового зварювання змінним струмом Дипломний проект			Літ.	Лист	Листів
Розробив	Павленко О.									
Перевірів	Скачков І.								86	86
								КПІ ім. І. Сікорського НН ІМЗ ім. Є.О. Патона		
Н. Контр.	Лисак В.									
Затв.	Квасницький В.									