

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Факультет електроніки**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ №1

ЕЛЕКТРОКОНТАКТНЕ ЗВАРЮВАННЯ

**3 КУРСУ
«ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ЕЛЕКТРОНІКИ»
Для студентів спеціальності «Електронні прилади та пристрої»**

Київ 2014

Мета роботи: Вивчення точкового електроконтактного зварювання, освоєння зварювального апарата, відпрацювання оптимальних режимів зварювання різних комбінацій з'єднання металів і вивчення причин дефектів зварювання.

Короткі теоретичні відомості

Електроконтактне зварювання металів, як спосіб з'єднання деталей, широко застосовується у виробництві електронних і газорозрядних приладів. **Електроконтактне зварювання** - це спосіб з'єднання металевих деталей, при якому деталі нагріваються шляхом проходження через них електричного струму з одночасним прикладенням механічного зусилля стискання деталей. Підведення електричного струму і механічного зусилля стискання до місця з'єднання здійснюється за допомогою спеціальних зварювальних електродів. Електроконтактне зварювання базується на використанні теплової дії електричного струму, тобто на законі Джоуля-Ленца:

$$Q=0,24I^2R_k t$$

Q - кількість тепла, у кал., що виділяється при проходженні електричного струму силою I [А] через опір контакту R_k , в омах, за час t , у сек.

Найбільша кількість теплоти виділяється в місці контакту двох металевих деталей, що викликає місцеве розплавлення контакту, утворюючи так зване зварювальне ядро.

Якість з'єднання, що отримана електроконтактним зварюванням, визначається, в основному, формою, розмірами, розташуванням зварювального ядра в місці з'єднання. Утворення зварювального ядра залежить як від параметрів зварювання (сила струму, час зварювання, зусилля стискання), так і від роду металів, співвідношення товщин деталей, що з'єднуються, якості очищення поверхонь від окисних і жиркових забруднень, матеріалу і форми зварювальних електродів.

При застосуванні для електроконтактного зварювання уніполярних імпульсів (випадок, що найчастіше зустрічається), на розташування ядра зварної точки істотний вплив може справляти також напрямок зварювального струму, що базується на ефекті Пельтьє. Сутність цього явища полягає в наступному: середня енергія вільних електронів у кожному металі різна. Якщо напрямок струму такий, що через контакт переміщуються електрони з металу, у якому їхня енергія відносно більша, то в місці контакту електрони віддають надлишок своєї енергії ядрам кристалічної решітки. Якщо змінити напрямок зварювального струму на зворотний, електрони будуть відбирати частину енергії. Отже, теплота Пельтьє буде додаватися або відніматися до теплоти Джоуля-Ленца, і в результаті ядро може зміститися до одного зі зварювальних електродів. Ефект Пельтьє помітний при зварюванні Ni - Cu, Ni - платиніт, Ni - W.

Теплота Пельтьє враховується по формулі:

$$Q_{пт} = \pm \Pi I t$$

$Q_{пт}$ – теплота ефекту Пельтьє; Π – коефіцієнт Пельтьє, у мВ; I - зварювальний струм, в амперах; t – час зварювання, у сек.

Коефіцієнт Пельтьє визначається зі співвідношення:

$$\Pi = \alpha \cdot T_{ab}$$

α – коефіцієнт термо-ЕРС при температурі T_{ab} границі різнорідних металів. Коефіцієнт Пельтьє, наприклад, при зварюванні Ni — Cu дорівнює 41,4 мВ.

При зварюванні різнотовщинних металів внаслідок неоднакової інтенсивності виділення і відводу тепла в тонкій і товстій деталях, зварювальне ядро розташовується несиметрично відносно площини поділу поверхонь деталей. Тонка деталь охолоджується інтенсивніше, швидше товстої, і зварювальне ядро зміщується вбік більш нагрітої товстої деталі. При співвідношенні товщин зварюваних деталей більш ніж 1:3 проплавляється тільки товста деталь, і надійного з'єднання не утворюється. Тому, електроконтактне зварювання із співвідношенням товщин більш ніж 1/3 не проводять. Це явище можна трохи послабити шляхом відповідного вибору форми і матеріалу зварювального електрода, що контактує з тонкою деталлю. Вибирається матеріал електрода з

меншою теплопровідністю і меншою контактною і загальною поверхнею.

Міцність зварних з'єднань різнорідних металів різна і залежить від фізичних, електричних і хімічних властивостей металів, що з'єднуються. Здатність металів утворювати міцні з'єднання методом електроконтактного зварювання називається зварюваністю металів.

Найкращою зварюваністю відзначаються метали, що володіють наступними властивостями :

- досить високим питомим опором;
- незначною теплопровідністю;
- високою і стабільною пластичністю при температурі зварювання;
- незначною зміною структури при нагріванні до температури зварювання й охолодженні до кімнатної температури;
- високою хімічною стійкістю до газів при температурі зварювання.

До металів, що добре зварюються, відносять: нікель, залізо і їхні сплави, а також титан, цирконій і сплави ковар, ніхром. До металів, що важко зварюються, відносять: срібло, алюміній, мідь, вольфрам і молібден.

Наявність жирових і окисних забруднень на поверхні деталей значно ускладнює процес електроконтактного зварювання (різко збільшує опір контакту), тому деталі перед зварюванням необхідно ретельно очистити від зазначених забруднень.

У процесі електроконтактного зварювання відбувається деяке окислення поверхні деталей. Для захисту від окислення, зварювання багатьох металів проводять у захищеному середовищі: вакуумі, аргоні, азоті, суміші азоту з воднем, у парах спирту або дистильованій воді.

Форма зварювальних електродів повинна бути зручна для виконання зварювання. Як матеріал для зварювальних електродів широко застосовується безокисна мідь, сплави міді, що містять берилій, хром, кадмій, сплав міді з вольфрамом і вольфрамом, оплавленим міддю. Робоча поверхня електродів періодично повинна проходити зачищення або шліфування. Вважається, що зварювання виконане якісно, якщо отримано нормальну зварну точку, що повинна бути майже рівна площі стикування робочої поверхні зварювального електрода з деталлю, а глибина ум'ятини від електрода не перевищувати 10% товщини однієї деталі.

Якщо при зварюванні мідними електродами деталі, що зварюються, легко прилипають до електродів і залишають сліди міді на деталях, то між електродами і деталлю варто помістити інший метал, до якого деталь не прилипає. Наприклад, при зварюванні танталу використовується тонка молібденова пластина, що поміщається між електродом і танталовою деталлю. У випадку зварювання товстого дроту з тонким спочатку потрібно обгорнути місце їхнього контакту тонкою нікелевою фольгою, а потім уже проводити зварювання. Зварювання деталей з металів, що важко зварюються (вольфрам, молібден і ін.), здійснити легше, якщо між ними прокласти тонку фольгу з металу, з яким вони добре зварюються, наприклад, між молібденовими деталями застосовують прокладку з нікелевої фольги.

Шов, отриманий електроконтактним зварюванням, вважається якісним, якщо він досить механічно міцний, не має виплесків, пропалів, тріщин, деталі не окислені і не деформовані. Якість зварювання залежить від уже розглянутих факторів і оптимальності режиму зварювання. Режим зварювання підбирається експериментально з подальшим випробуванням шва на розрив. Якщо розрив проходить по основному металу або біля шва, то такий режим зварювання вважають оптимальним.

Електроконтактне зварювання проводиться великими величинами сили струму при малій напрузі (4÷6 В). Перед проходженням струму до деталей прикладається зусилля стискання.

Величина зусилля стискання визначає контактний опір R_k і повинна підтримуватися постійною в процесі зварювання. При певних величинах струму і часу зварювання, необхідна оптимальна величина зусилля стискання зварювальними електродами для забезпечення якісного зварювання. При занадто малому натискові (недостатній контакт) спостерігається іскріння, пропалювання місць зварювання, а іноді і виплеск матеріалу електродів. Якщо ж натиск електродів надто великий, то зменшується контактний опір, кількість тепла, що виділяється в місці зварювання, стає недостатньою і міцність місця зварювання виходить заниженою.

Якість зварювання також залежить від часу зварювання. При надто тривалому зварюванні,

деталі, що зварюються, жолобляться (деформуються) або перепалюються, а при дуже короткочасному - зварна ділянка виходить недостатньо міцною.

Сила струму при зварюванні встановлюється в залежності від тієї кількості тепла, яку необхідно виділити в контакт для утворення розплавленого ядра певних розмірів. Перевищення сили струму вище оптимальної для даних товщин і роду матеріалів приводить до перегріву і виплеску металу із зварного ядра. При зниженій силі струму кількість тепла буде недостатньою для утворення зварного ядра потрібних розмірів, міцність з'єднання буде недостатньою ("непровар").

Дефекти зварювання: пропали, виплески, деформації, непровар, усуваються правильним добором режиму зварювання, якісного очищення деталей і формою зварювальних електродів.

Сучасні апарати електроконтактного зварювання дозволяють регулювати в широких межах параметри зварювання: силу струму, час зварювання і тиск. Для забезпечення якісного зварювання в сучасних апаратах застосовуються різні зварювальні цикли:

- зварювання змінним струмом промислової частоти;
- зварювання при розряді батареї конденсаторів, так зване конденсаторне зварювання;
- зварювання одним півперіодом струму промислової частоти;
- зварювання послідовними імпульсами рівної величини (імпульсне зварювання);
- зварювання ступеневим циклом шляхом ряду імпульсів, що називають підігрівними (значення струму 50% від зварювального) і одним зварювальним імпульсом великої величини;
- зварювання із зростаючою амплітудою змінного струму;
- зварювання модульованим циклом (нагрів – зварювання – охолодження). Нагрів виконують модульованими наростаючими імпульсами, зварювання одним періодом струму промислової частоти, охолодження при поступовому спаді струму.

Апарати електроконтактного зварювання, що використовуються в промисловості, відрізняються не тільки схемою зварювального циклу, але і потужністю зварювання (конденсаторне зварювання, тиратронне і ігнітронне та ін.).

В залежності від форми і конструкції шва електроконтактне зварювання може бути чотирьох видів: точкове, роликоне, стикове і поверхнєве. При точковому зварюванні шов виконується у вигляді послідовних зварних точок, при роликоне – шов є суцільною лінією зварних точок, при стиковому - шов виконується у вигляді однієї зварної точки в стику двох дротів або прутиків. Сутність поверхневого зварювання, запропонованого Ігнатьєвим, полягає в тому, що струм пропускається паралельно поверхні деталей, що з'єднуються. Найбільш поширеним у виробництві електронних приладів є точкове електроконтактне зварювання. Найбільші труднощі представляє зварювання тонких дротів. Як установив Кіфер, зварювання тонких дротів діаметром менш ніж 1,5 мм із тугоплавких матеріалів може успішно здійснюватися в тих випадках, коли співвідношення їхніх діаметрів відповідає наступній умові:

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \sqrt[3]{\frac{T_{1пл}^2}{T_{2пл}^2}}$$

d_1 і d_2 – діаметри дротів, у мм.; λ_1 і λ_2 – теплопровідність матеріалів дротів; $T_{1пл}$ і $T_{2пл}$ – температура плавлення, у °С. Ця формула справедлива при часі зварювання 0,01...0,02 сек.

Опис зварювального апарата

Конструкція й електрична схема апарата забезпечує зварювання імпульсами розрядного струму конденсаторної батареї. У апараті передбачені три варіанти притискання деталі під час зварювання: за допомогою механізму, керованого педаллю, ручного однополюсного інструмента і ручного двополюсного інструмента типу "Пінцет". Механізм стискання деталей, що зварюються, забезпечує постійність і широкий діапазон регулювання зусилля стискання. Ручні інструменти забезпечують стискання зусиллям руки оператора. Подача імпульсу на електроди здійснюється при натисканні на педаль. При цьому конденсаторна батарея розряджається через тиратрон на понижуючий трансформатор, до другої обмотки якого підключені електроди.

Товщина деталей, що зварюються, (по нікелю) :

Найбільша – 1,5 мм;

Найменша – 0,1 мм;

Зусилля стискання деталей, що зварюються – $0 \div 20$ кг;

Число ступенів регулювання ємностей конденсаторної батареї – 7;

Тривалість імпульсу струму конденсаторного зварювання – $0,005 \div 0,01$ сек.;

Номінальна потужність апарата – 5 кВА.

Послідовність проведення роботи

1. Включити апарат електроконтактного зварювання:

– Перед ввімкненням перемикачі апарата повинні знаходитись у вимкненому положенні.

– Увімкнути тумблер „Мережа”.

Перемикачем встановити необхідну величину ємності конденсаторної батареї (50, 100, 150, 200, 300, 400 або 600 мкФ).

– Помістити зварювані деталі між плиток і зварювальним електродом.

– Виконати зварювання деталей, натиснувши педаль до упору. При цьому автоматично відбувається цикл зварювання. При одному натисканні на педаль можливе лише однократне протікання зварного циклу.

2. Відпрацювати режим електроконтактного точкового зварювання трьома зварювальними циклами наступні сполучення профілів металів:

а) молібденових дротів з нікелевими дротами;

б) стрічок з молібдену з дротом із нікелю;

в) вольфрамових дротів з нікелевими стрічками;

г) дротів із нікелю;

д) ніхромових дротів з стрічками з молібдену, вольфраму і нікелю;

с) молібденових і вольфрамових дротів один з одним і через нікелеві прокладки;

ж) стрічки з алюмованого заліза і нікелю з вольфрамом, молібденом і ніхромом різних профілів.

3. Режими зварювання різних металів оформити у вигляді таблиці, де вказати матеріали, що зварюються, ємність, потужність зварювання й оцінку якості зварювання. Для матеріалів, що добре зварюються, треба досягти якісного з'єднання, при цьому всі невдалі експерименти також обов'язково заносяться в протокол.

4. Методом відриву за допомогою пінцета оцінити якість електроконтактного зварювання різних металів.

5. Вимкнути апарат тумблером „Мережа”.

Вимоги до звіту

(Увага! Перед початком роботи кожен студент повинен мати протокол та бути теоретично підготовленим.)

Звіт повинен вміщувати:

1. Ціль роботи.

2. Порядок виконання роботи.

3. Виконані розрахунки.

4. Таблиці з результатами вимірювань та розрахунків.

5. Пояснення дефектів, що виникли, і результатів зварювання.

6. Висновки по роботі.

(Увага! Табличні данні, розрахунки, рисунки графіків, осцилограм, висновки повинні бути представлені в рукописному вигляді, без використання комп'ютерної та розмножувальної техніки.)

№	З'єднання	Коефіцієнт трансформації	Ємність	Потужність	Результат експерименту
1	Fe-Fe	1. 2. 3. 4.	1. 2. 3. 4.	1. 2. 3. 4.	виплеск пропал деформація непровар якісне з'єднання
2	Fe-Al				
3	Cu-Cu				
4	Cu-Ni				
5	Cu-Mo				
6	Cu-Fe				
7	Cu-Al				
8	Ni-Ni				
9	Ni-Mo				
10	Ni-Fe				
11	Ni-Al				
12	Mo-Mo				
13	Mo-Fe				
14	Mo-Al				
15	Al-Al				

Контрольні запитання

1. Що таке електроконтактне зварювання?
2. Види електроконтактного зварювання.
3. Переваги і недоліки електроконтактного зварювання.
4. Параметри електроконтактного зварювання.
5. Вплив сили струму на якість зварювання.
6. Вплив часу зварювання на якість шва.
7. Вплив зусилля стискання на якість зварювання.
8. Зварюваність матеріалів.
9. Особливості зварювання тугоплавких металів.
10. Захист місця зварювання від окислення.
11. Особливості зварювання різновидних металів.
12. Ефект Пельтьє та його роль.
13. Особливості зварювання тонких дротів.
14. Матеріали для зварних електродів.
15. Види зварювальних циклів.
16. Фактори, що визначають величину і положення зварного ядра, при електроконтактному зварюванні.
17. Роль ступеня очистки металів в якості їх зварювання.
18. Дефекти зварювання та їх види.
19. Дефекти зварювання та їх причини.
20. Перелік важко зварюваних електроконтактним зварюванням металів.
21. електроконтактна пайка, її особливості і переваги.
22. Контроль якості з'єднань, отриманих методом електроконтактного зварювання.